

Pedro Nuno Brites de Oliveira

Método para Obtenção de Ortofotos a partir de Fotografias
Aéreas Digitais



*Relatório de estágio submetido à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geográfica*

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Novembro/2011

Pedro Nuno Brites de Oliveira

Método para Obtenção de Ortofotos a partir de Fotografias
Aéreas Digitais



*Relatório de estágio submetido à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geográfica*

Orientador: José Alberto Gonçalves (Professor Auxiliar DGAOT)

Co-orientador: Alexandre Gomes (InfoPortugal, S.A.)

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Novembro/2011

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoas que sem o seu apoio, orientação e companheirismo este trabalho não teria seguido o rumo tomado. Assim sendo, expresso os meus agradecimentos:

Ao Sr. Professor Doutor Eng.º José Alberto Gonçalves pelo seu apoio, paciência e disponibilidade prestada ao longo do desenvolvimento do período de estágio;

À InfoPortugal, S.A. pela oportunidade de poder realizar um estágio na área da fotogrametria e aperfeiçoar a parte prática de todo o seu processo. Em especial agradeço ao Alexandre e ao Edgar por toda a sua orientação e disponibilidade na elaboração do trabalho realizado no estágio. Agradeço também ao Nuno pela aprendizagem de toda a destreza necessária no trabalho de campo;

Aos meus pais e irmão por todo o incentivo, ajuda e paciência para que este longo percurso se pudesse desenrolar;

Aos meus avós que estiveram sempre no meu pensamento apesar de não presenciarem o meu desenvolvimento universitário;

Aos meus amigos por todo o companheirismo e apoio ao longo da vida universitária;

E por último, mas não menos importante, gostava de agradecer à Vanessa por todo o apoio, paciência, crítica e compreensão durante o período de estágio. E ainda por me incentivar e acreditar em mim durante o final de licenciatura e o período de conclusão de mestrado, e ainda por apresentar sempre um sorriso durante todo esse tempo.

Resumo

A produção de ortofotos é um processo que apresenta várias etapas, desde o voo fotogramétrico à edição do modelo digital do terreno, incluindo a aerotriangulação. Estas são utilizadas por autarquias e empresas para a produção e actualização da cartografia pois apresenta um custo menor do que os métodos tradicionais.

O presente trabalho realizou-se em ambiente empresarial na InfoPortugal, S.A. onde se propôs, através da fotogrametria digital, a criação de ortofotos e o respectivo mosaico de ortofotos. Para tal, durante o período de estágio procedeu-se à realização de um conjunto de etapas, necessárias à sua produção, constituídas pelo planeamento e voo fotogramétrico realizado sobre a ria de Aveiro, pela preparação e recolha de pontos fotogramétricos, obtidos no terreno com um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) no concelho de Matosinhos e distrito de Aveiro, pela criação da aerotriangulação, onde se analisam os resultados obtidos de forma a estarem de acordo com os parâmetros pretendidos, ou seja, que as ortofotos apresentem a precisão necessária para a produção de cartografia. Os dados relativos às precisões necessárias são apresentados pelo Instituto Geográfico Português. Por último, e antes da criação das ortofotos, procede-se à edição do modelo digital do terreno, onde se representou apenas o terreno e não edificações e zonas com vegetação. Após a execução das referidas etapas procedeu-se à criação das ortofotos, respectivo mosaico e a sua correcção para que as coseduras do mosaico apresentem-se discretas.

Foram realizadas várias edições do modelo digital do terreno em diferentes zonas do país, incluindo as respectivas correcções do mosaico.

Efectuou-se ainda um estudo comparativo entre duas câmaras digitais com diferentes sensores, a DigiCAM-H/39 e uma DMC (*Digital Mapping Camara*), no qual se utilizou os resultados obtidos da aerotriangulação na mesma zona com áreas idênticas. A área de estudo situa-se entre a praia da Vagueira e a Costa Nova do Prado em Aveiro.

Palavras-chave: Ortofotos, Fotogrametria Digital, Aerotriangulação, Modelo Digital do terreno, Pontos Fotogramétricos, Mosaico.

Abstract

The production of orthophotos is a process that has several stages, from the photogrammetric flight to the edition of digital terrain model, including aerotriangulation. These are used by municipalities and companies to produce and update maps because it presents a lower cost than traditional methods.

This work took place in a business environment at InfoPortugal, S.A. where it was proposed, through digital photogrammetry, orthophoto creation and its mosaic of orthophotos. To this end, during the stage period proceeded to carry out a set of steps needed to produce them, constituted by the planning and photogrammetric flight performed on the Ria de Aveiro, the preparation and collection of photogrammetric points obtained in the field with a GNSS (Global Navigation Satellite Systems) receiver on municipality of Matosinhos and district of Aveiro, the creation of aerotriangulation, which analyzes the results in order to be in accordance with the desired parameters, that is, the orthophotos have the necessary precision for the production of maps. The data relating to necessary precisions are presented by the Portuguese Geographic Institute. For last, and before the creation of orthophotos, proceed to editing the digital terrain model, where represented only the land and not buildings and areas with vegetation. After the implementation of these steps proceeded to the creation of orthophotos, mosaics and its correction for the stitching of the mosaic have a low profile.

It was made many editions of the digital terrain model in different parts of the country, including their corrections of the mosaic.

It also made a comparative study of two digital cameras with different sensors, a DigiCAM-H/39 and a DMC (Digital Mapping Camera), which was used the results of aerotriangulation in the same zone with similar areas. The study area is located between the beach of Vagueira and Costa Nova do Prado in Aveiro.

Keywords: Orthophotos, Digital Photogrammetry, Aerotriangulation, Digital Terrain Model, Photogrammetric Points, Mosaic.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
1. Introdução	13
1.1. Estrutura do relatório.....	13
1.2. Objectivo	13
1.3. Enquadramento Empresarial	14
1.4. Enquadramento Histórico.....	15
2. Conceitos Teóricos.....	19
2.1. Plano de Voo	19
2.2. Preparação e Recolha de Pontos Fotogramétricos	23
2.3. Orientação Externa	24
2.4. Aerotriangulação	26
2.5. Edição do Modelo Digital do Terreno	28
2.6. Criação de Ortofotos e Correção do Mosaico	31
3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital	35
3.1. Planeamento e Voo Fotogramétrico.....	35
3.1.1. Planeamento de Voo	35
3.1.2. Voo Fotogramétrico.....	36
3.2. Correção e mudança de formato das fotografias aéreas	37
3.3. Processamento de dados GNSS	38
3.4. Orientação Externa	39
3.5. Pontos Fotogramétricos	42
3.5.1. Recolha de pontos fotogramétricos	43
3.5.2. Introdução de pontos fotogramétricos no projecto	45
3.6. Aerotriangulação	46
3.7. Modelo Digital do Terreno	48
3.7.1. Geração do Modelo Digital de Terreno	48

3.7.2.	Edição do Modelo Digital de Terreno	50
3.8.	Ortofotos	53
3.8.1.	Criação de ortofotos	53
3.8.2.	Concepção e correcção do mosaico.....	54
3.8.3.	Mudança de sistema de referência.....	56
4.	Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC.....	57
4.1.	Especificações das Câmaras Digitais	57
4.2.	Áreas de Estudo.....	57
4.3.	Resultados Aerotriangulação.....	59
4.3.1.	Primeiro processamento	59
4.3.2.	Segundo processamento	61
4.3.3.	Terceiro processamento	63
4.4.	Conclusões.....	67
5.	Considerações Finais	69
	Bibliografia.....	71
	Anexos.....	73

Índice de Figuras

Figura 1.1: <i>Workflow</i> do <i>software</i> fotogramétrico da Inpho.	14
Figura 1.2: Organograma da empresa.	15
Figura 1.3: Primeira fotografia permanente do mundo.	16
Figura 1.4: Fotografia aérea a partir de um balão.	16
Figura 1.5: Evolução da fotogrametria.	18
Figura 2.1: Fase de preparação para a criação de ortofotos.	19
Figura 2.2: Sobreposição longitudinal e lateral.	21
Figura 2.3: Traçado de voo em área de terreno rectangular.	21
Figura 2.4: Traçado de voo em faixa estreita.	22
Figura 2.5: Exemplo de um mapa de voo.	23
Figura 2.6: Distribuição de Pontos Fotogramétricos num Bloco.	23
Figura 2.7: Exemplo de uma folha de campo.	24
Figura 2.8: Coordenadas X, Y, Z e atitude do avião ω , ϕ , κ	25
Figura 2.9: Exemplo de um bloco de fotografias aerotriangulado.	27
Figura 2.10: Áreas escondidas e veículos em movimento.	29
Figura 2.11: Formação de um ponto quente numa fotografia aérea.	29
Figura 2.12: Pontos gerados em edifícios.	30
Figura 2.13: Ponto afundado em relação ao terreno.	30
Figura 2.14: Pontos elevados em relação ao terreno.	31
Figura 2.15: Processo de produção de ortofotos digitais.	31
Figura 2.16: Diferença radiométrica no mosaico criado.	32
Figura 2.17: Exemplo de correcção manual das coseduras do mosaico criado.	32
Figura 2.18: Pixéis rabiscados no mosaico.	33
Figura 3.1: Mapa e MDT introduzido.	35
Figura 3.2: Parâmetros obtidos no relatório de planeamento de voo.	36
Figura 3.3: Componentes necessários no levantamento de fotografias aéreas.	37
Figura 3.4: Exportação das fotografias aéreas com a extensão .3fr para .fff.	37
Figura 3.5: Alteração de Histograma.	38
Figura 3.6: Processamentos de dados GNSS.	39
Figura 3.7: Trajecto da aeronave através dos dados do sistema inercial.	40
Figura 3.8: Variação da atitude da aeronave.	40
Figura 3.9: Diferença de posição entre o receptor GNSS e INS	41

Figura 3.10: Erro médio quadrático da posição dos dados do receptor GNSS.	41
Figura 3.11: Erro médio quadrático da posição dos dados INS.	42
Figura 3.12: Ficheiro da orientação externa obtido pelo “AeroOffice”.	42
Figura 3.13: Exemplo de um ponto a ser levantado.	43
Figura 3.14: Localização dos pontos fotogramétricos no concelho de Matosinhos.....	44
Figura 3.15: Transformação local na caderneta.	44
Figura 3.16: Localização dos pontos fotogramétricos no distrito de Aveiro.	45
Figura 3.17: Introdução de pontos no “ApplicationsMaster”.	45
Figura 3.18: Atribuição de pontos fotogramétricos nas fotografias aéreas.....	46
Figura 3.19: Processamento e pós-processamento da Aerotriangulação	47
Figura 3.20: Resultado do pós-processamento da aerotriangulação do concelho de Matosinhos.	47
Figura 3.21: Análise da ligação dos pontos gerados na aerotriangulação.....	48
Figura 3.22: Parâmetros para gerar o MDT.	49
Figura 3.23: Escolha dos parâmetros do tipo de região do MDT.....	49
Figura 3.24: Eliminação de pontos elevados na edição do MDT.....	50
Figura 3.25: Linhas de quebra usadas no projecto de Lisboa e Beja.	51
Figura 3.26: Curvas de nível em Lisboa e Beja.	51
Figura 3.27: Zona tapadas por prédios e árvores.....	52
Figura 3.28: Pontos quentes nas fotografias aéreas.....	52
Figura 3.29: “OrthoMaster” com o MDT importado.	53
Figura 3.30: Selecção de parâmetros para a criação de ortofotos.	54
Figura 3.31: Erros nos ortofotos criados.	54
Figura 3.32: Ficheiro tile.....	55
Figura 3.33: Criação do mosaico no “OrthoVista”.	55
Figura 3.34: Coseaduras no mosaico criado.	56
Figura 4.1: Áreas de estudo das diferentes câmaras digitais.....	58
Figura 4.2: Fotos retiradas pela DigiCAM-H/39 na esquerda e pela DMC na direita.....	58
Figura 4.3: Pontos fotogramétricos retirados nas áreas de estudo.	59
Figura 4.4: Pontos de ligação e pontos fotogramétricos utilizados nos diferentes projectos...	61
Figura 4.5: Comparação entre a aerotriangulação do projecto da câmara DMC e a DigiCAM-H/39.....	66

Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Relações entre a escala fotográfica e a escala topográfica.	20
Tabela 2.2: Precisão a obter na aerotriangulação.	28
Tabela 4.1: Principais especificações das câmaras digitais em comparação.	57
Tabela 4.2: Resíduos das observações GNSS após o primeiro processamento.	60
Tabela 4.3: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o primeiro processamento.	60
Tabela 4.4: Resíduos das observações GNSS após o primeiro processamento.	60
Tabela 4.5: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o primeiro processamento.	60
Tabela 4.6: Resíduos das observações GNSS após o segundo processamento.	62
Tabela 4.7: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o segundo processamento.	62
Tabela 4.8: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.	62
Tabela 4.9: Resíduos das observações GNSS após o segundo processamento.	63
Tabela 4.10: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o segundo processamento.	63
Tabela 4.11: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.	63
Tabela 4.12: Resíduos das observações GNSS após o terceiro processamento.	64
Tabela 4.13: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o terceiro processamento.	64
Tabela 4.14: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.	64
Tabela 4.15: Resíduos das observações GNSS após o terceiro processamento.	64
Tabela 4.16: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o terceiro processamento.	65
Tabela 4.17: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.	65
Tabela 4.18: Quadro comparativo entre os resultados obtidos na aerotriangulação.	67
Tabela 4.19: Diferenças nas observações GNSS.	67

1. Introdução

No presente capítulo é efectuada uma breve descrição da estrutura do relatório de estágio.

O capítulo inclui ainda a apresentação do objectivo do projecto realizado em ambiente empresarial e a descrição do local onde este se realizou, incluindo, para o efeito, o enquadramento empresarial.

Por último, será abordado o contexto histórico da evolução da fotogrametria.

1.1. Estrutura do relatório

O relatório elaborado divide-se em 5 capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se a estrutura do relatório de estágio, procura-se especificar os objectivos propostos para o estágio, apresentar um enquadramento empresarial de onde foi realizado o projecto, e abordar o contexto histórico da fotogrametria.

O segundo capítulo descreve conceitos teóricos que estão por detrás dos métodos automatizados da fotogrametria digital. Nele estão os parâmetros necessários para a construção de um plano de voo, o que é a orientação externa, a aerotriangulação, a edição do MDT, e a criação de ortofotos e a correcção do mosaico.

O terceiro capítulo refere-se à execução prática dos vários processos utilizados na fotogrametria digital. Estes processos práticos serão demonstrados através de trabalhos que foram realizados durante o período de estágio.

O quarto capítulo efectua-se a comparação entre duas câmaras digitais diferentes (a DigiCAM-H/39 pertencente à InfoPortugal e uma *Digital Mapping Camara*, DMC), através dos resultados obtidos na aerotriangulação sobre a mesma área de estudo.

No último capítulo estão descritas as considerações finais relativamente aos resultados obtidos durante o período de estágio que se encontram nos capítulos anteriores. É ainda feita uma perspectiva sobre o trabalho futuro a desenvolver.

1.2. Objectivo

A fotogrametria ao longo dos anos tem sofrido diversas actualizações e alterações desde os princípios da fotogrametria até à fotogrametria analítica e consequentemente até aos dias de hoje com a fotogrametria digital.

1. Introdução

O objectivo proposto, para a realização deste estágio consiste na criação de ortofotos utilizando fotografias aéreas digitais e na comparação entre as câmaras digitais DigiCAM-H/39 e uma DMC (*Digital Mapping Camara*) através dos resultados da aerotriangulação.

O processo de realização de ortofotos que foi proposto na empresa exige a realização de um conjunto de etapas que incluem o voo fotogramétrico para a obtenção de fotografias aéreas, recolha de pontos fotogramétricos (PFs), tratamento das fotografias a nível de rectificação de cores e alteração de histograma, mudança do formato das fotografias com a extensão .3fr (formato com que as fotografias são obtidas pela câmara fotográfica) para o formato TIFF, processamento do sinal GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), criação da orientação externa, realização da aerotriangulação, desenvolvimento do modelo digital de terreno (MDT) e sua edição, criação de ortofotos, concepção e correcção do mosaico criado e por fim a mudança de sistemas de referência nas ortofotos de ETRS89 para Datum73, devido ao facto de os clientes da empresa também pretenderem os ortofotos em Datum73.

Este processo foi realizado em diferentes áreas de estudo, entre elas a cidade de Beja, a zona da costa envolvente ao porto marítimo de Aveiro, concelho de Matosinhos e o concelho de Lisboa.

Para a executar o processo acima descrito recorreu-se ao *software* Hasselblad FlexColor, ao GraphNav, ao AeroOffice, ao *software* fotogramétrico da Inpho (Figura 1.1) e ao FWTools.

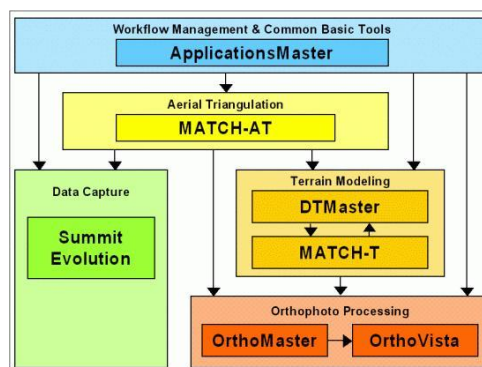


Figura 1.1: Workflow do software fotogramétrico da Inpho¹.

1.3. Enquadramento Empresarial

A InfoPortugal Sistemas de Informação e Conteúdos, S.A., é uma empresa de conteúdos digitais e soluções tecnológicas de *geo-location*, dedicada aos mercados de SIG e da mobilidade. Foi criada em 2001 e desde 2007 que pertence ao grupo IMPRESA, que adquiriu em

¹ Imagem retirada do sítio da internet da Inpho. Sítio consultado a 15/01/2011.
http://www.inpho.de/index.php?seite=photogrammetric_systems

2009 os 100% da empresa. Em 2005 criou a marca e o *software* NDrive, onde em 2007 através de um processo de separação deu origem à empresa *Ndrive Navigation Systems, S.A.* A InfoPortugal produz e comercializa dados cartográficos, pontos de interesse, conteúdos multimédia de visualização turística, mapas e roteiros turísticos, mapas interactivos, modelos 3D de cidades e regiões, e também fotografia aérea e ortofotomapas. (InfoPortugal Sistemas de Informação e Conteúdos, 2010)

Tem como missão a criação de Conteúdos Digitais e Produtos de Excelência respondendo aos requisitos de negócio dos seus clientes na implementação de estratégias para a competitividade dos seus produtos e serviços na produção de riqueza, assentes em vectores diversificados de *geo-location*, assim como, para a criação de valor e riqueza para os seus colaboradores e accionistas. (InfoPortugal Sistemas de Informação e Conteúdos, 2010)

A InfoPortugal é o parceiro de negócio e um aliado estratégico nas áreas de georreferenciação de conteúdos digitais, das tecnologias de informação, do marketing e comunicação. Ambiciona ser reconhecida, por *standards* internacionais, como a maior empresa especialista na área de georreferenciação e conteúdos digitais em Portugal (InfoPortugal Sistemas de Informação e Conteúdos, 2010).

Este estágio foi realizado na área de negócio da Fotografia Aérea inserida na secção de Informação Geográfica (Figura 1.2).

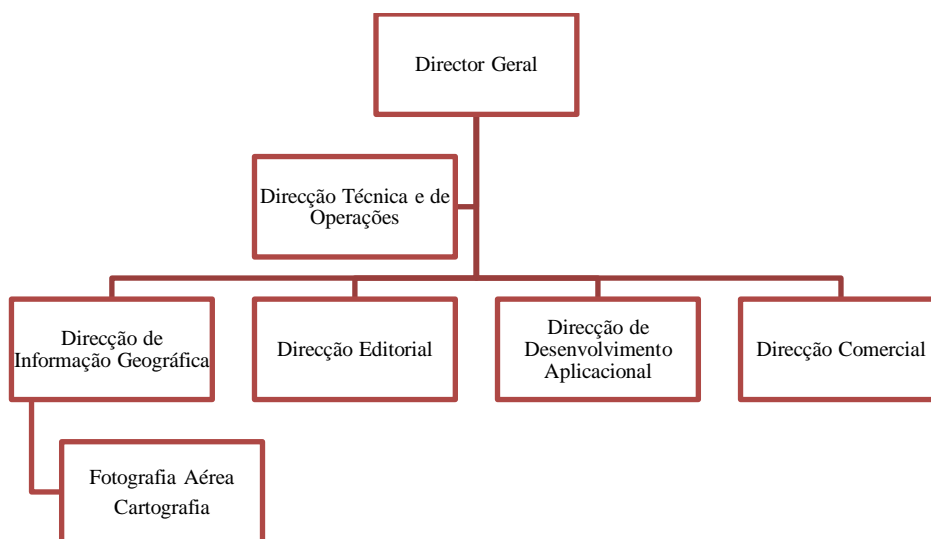


Figura 1.2: Organograma da empresa.

1.4. Enquadramento Histórico

A fotogrametria é a arte e ciência da determinação da posição e forma dos objectos a partir de fotografias. Os resultados de medidas fotogramétricas devem ser fornecidos na forma de números (coordenadas de pontos num sistema de coordenadas de três dimensões), ma-

1. Introdução

pas e imagens (na sua maioria fotografias rectificadas, ortofotos) (Kraus, 1993). Esta arte não poderia existir sem a invenção da fotografia por Niépce em 1826 (Figura 1.3) que posteriormente se juntou a Jacques Mandé Daguerre na descoberta da fotografia (Rocha, Piorno, & Freire, 2004). Em 1849, Aimé Laussedat referido como o pai da fotogrametria foi a primeira pessoa a usar fotografias terrestres para a elaboração de mapas topográficos.



Figura 1.3: Primeira fotografia permanente do mundo².

O primeiro passo para a fotogrametria aérea foi dado por Nadar quando em 1855 usou um balão a 80m para tirar fotografias aéreas (Figura 1.4), ordenadas pelo imperador Napoleão, para obter reconhecimento fotográfico na preparação da batalha de Solferino. Em 1858, o francês Chevallier desenvolveu o "*photographic plane table*" que era uma câmara fotogramétrica, na qual a chapa fotográfica ficava na posição horizontal. Em 1893 pela primeira vez usa-se o termo fotogrametria, usado pelo Dr. Albrecht Meydenbauer que teve bastante aceitação. Por volta de 1900 estava encerrado a primeira fase da fotogrametria e começava a fase da fotogrametria analógica (Burtch, 2008).



Figura 1.4: Fotografia aérea a partir de um balão³.

² Imagem retirada de Rocha, Piorno, & Freire, 2004, p. 2

³ Imagem retirada de Burtch, 2008, p. 6

Dois importantes passos fizeram com que se entrasse nesta nova fase, a estereoscopia que começava a ser bastante usada, devido à invenção do *Stereo-Planigraph* pelo Dr. Edouard Deville e o desenvolvimento do avião pelos irmãos Wright em 1903, em que Wilbur Wright foi a primeira pessoa a obter fotografias aéreas de um avião em 1909. Em 1901, Dr. Carl Pulfrich (referido muitas vezes como o pai da estéreo fotogrametria) desenhou o primeiro estéreo comparador usando escalas de coordenadas X e Y. As primeiras fotografias aéreas tiradas para produção de mapas foram tiradas em 1913 pelo capitão Cesare Tardivo. Em 1921 o Prof. Reinhard Huguershoff criou o primeiro plotter analógico para a criação de mapas. Em 1941, foi inventado o primeiro computador que dentro de pouco tempo vinha por fim à fotogrametria analógica e dar entrada à fotogrametria analítica por volta de 1950 quando Everett Merritt publicou trabalhos sobre fotogrametria analítica (Burtch, 2008).

Em 1953 o Dr. Hellmut Schimid estabeleceu uma série de rotinas computacionais para o tratamento analítico das equações fotogramétricas através de soluções matriciais, tendo sistematizado o uso do Método dos Mínimos Quadrados. Em 1957 Uuno (Uki) Helava criou o primeiro plotter analítico. Helava e Gilbert Louis Hobrough foram uns dos pioneiros da fotogrametria digital que apareceu por volta de 1970. Nesta nova fase os dados são digitalizados para os computadores se as fotos forem tiradas de uma máquina fotográfica analógica (Burtch, 2008). Na Figura 1.5 podemos ver a evolução da fotogrametria de uma forma mais clara.

1. Introdução

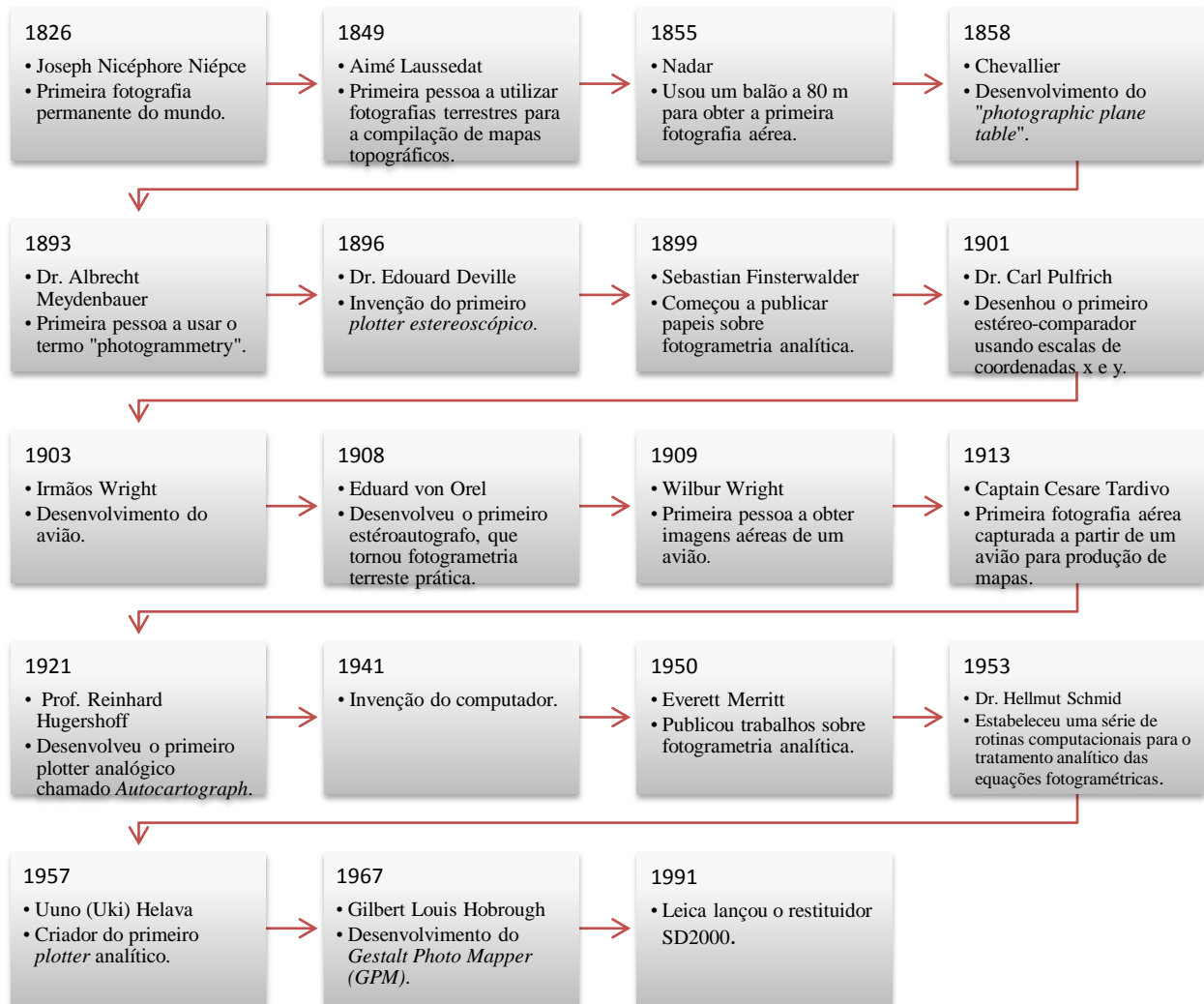


Figura 1.5: Evolução da fotogrametria.

2. Conceitos Teóricos

Para realizar ortofotos é necessário seguir diversas fases que vão desde o planeamento do voo fotogramétrico ao desenvolvimento do modelo digital do terreno, incluindo a recolha de pontos fotogramétricos e a aerotriangulação (Figura 2.1).

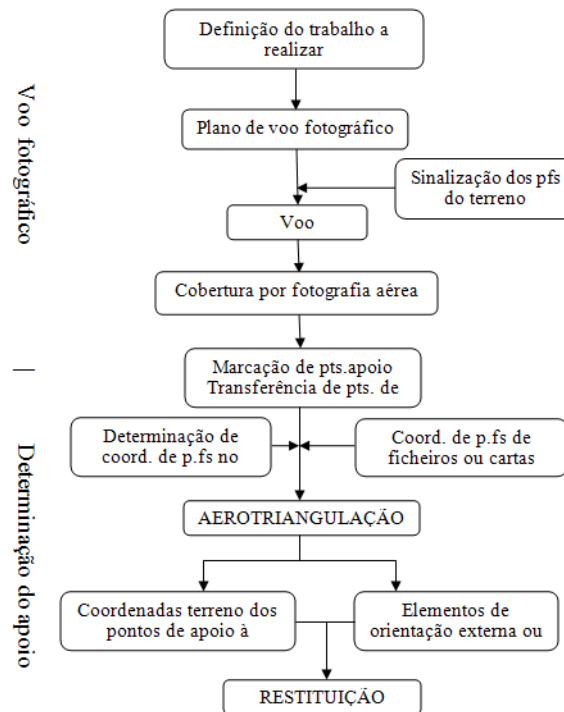


Figura 2.1: Fase de preparação para a criação de ortofotos⁴.

2.1. Plano de Voo

Antes de se efectuar o planeamento do voo deve-se considerar as localizações e dimensões da área a levantar, o tipo de representação que se pretende (carta gráfica, carta numérica, ortofoto digital ou em papel, modelo tridimensional do terreno, etc.), escala da representação (que condiciona a escala da foto inicial e o tipo de pormenor a representar), a precisão pretendida (planimétrica e altimétrica), o prazo de execução e as restrições ao voo (época do ano, vegetação, luminosidade, dimensão das sombras, zonas interditas) (Redweik, 2007).

A altura de voo acima de uma determinada superfície de referência (normalmente o nível médio das águas do mar), a distância entre as exposições sucessivas e o espaçamento no terreno entre as linhas de voo são os elementos básicos de um plano de voo. Depois de determinados estes elementos, as linhas de voo são cuidadosamente projectadas no melhor mapa

⁴ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 3

disponível da área a ser fotografada. Posteriormente, a carta torna-se numa carta de linhas de voo ou mapa de voo (Gonçalves G. R., 2005).

No planeamento do voo fotográfico há que decidir e considerar vários aspectos, a escala da fotografia, as sobreposições, o traçado de voo, a época do voo, o mapa de voo e o orçamento de custos, que tem um papel relevante na execução ou não do voo fotogramétrico.

A escala fotográfica a ser escolhida deve ser ponderada em dois aspectos, o aspecto técnico, em que para produzir uma carta a uma determinada escala, quanto maior for a escala da fotografia aérea melhor se identificam os pormenores do terreno e maior será a precisão das medições a efectuar e o aspecto económico em que quanto menor for a escala da fotografia, mais terreno será abrangido por cada foto e serão necessárias menos fotos para cobrir a mesma área, o que significa economia de restituições e de pontos de apoio necessários (Redweik, 2007). Na Tabela 2.1 verifica-se as várias ligações entre a escala fotográfica e a escala topográfica para o caso padrão das fotografias (23×23cm) tiradas com uma câmara grande angular, com uma distância focal de 150 mm e com uma sobreposição de 60% (Gonçalves G. R., 2005).

Tabela 2.1: Relações entre a escala fotográfica e a escala topográfica⁵.

Escala Fotográfica	Altura de Voo (m)	Escala da Carta Topograf.	Factor de Ampliação	Equidistância Curvas de Nível
1:3 000	450	1:500	6 ×	0.5
1:5 000	750	1:1 000	5 ×	1
1:10 000	1 500	1:2 500	4 ×	2
1:25 000	3 750	1:10 000	2.5 ×	5
1:50 000	7 500	1:50 000	1 ×	10
1:80 000	12 000	1:100 000	0.8 ×	20

A cobertura da zona a levantar deve ser planeada para que as fotografias apresentem uma sobreposição entre elas. A zona a levantar deve ser capturada em pelo menos duas fotografias distintas.

Se o terreno a levantar for relativamente plano bastará usar 60% de sobreposição longitudinal e 15 a 30% de sobreposição lateral, mas, em contrapartida, se o terreno se apresentar acidentado é necessário aumentar ambas as sobreposições minimizando assim os efeitos do deslocamento do relevo. A sobreposição de 60% em ambas as direcções permite uma aerotriangulação em bloco bastante coesa. (Gonçalves G. R., 2005)

⁵ Tabela retirada de Gonçalves, G.R., 2005, p. 67

A Figura 2.2 ilustra a sobreposição longitudinal e lateral ocorrida e é visível que qualquer ponto de ligação presente na zona sombreada irá aparecer em nove fotografias.

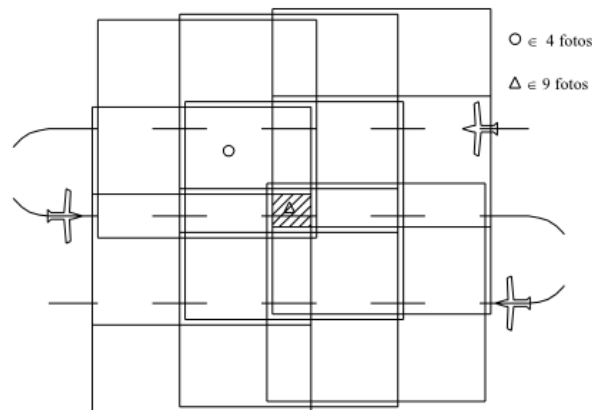


Figura 2.2: Sobreposição longitudinal e lateral⁶.

O traçado de voo que determina a rota a seguir pela aeronave depende da forma do terreno a levantar fotogrametricamente. Sempre que possível, deve-se obter fiadas rectilíneas de fotografias com uma sobreposição predefinida entre si. A área a levantar vai implicar a forma de como o traçado de voo vai ser produzido. Se a área do terreno a levantar for extensa e aproximadamente rectangular, a aeronave deverá sobrevoá-la em traçados paralelos (Figura 2.3). Se a área apresentar um formato irregular, esta é subdividida em vários rectângulos de diversas dimensões e orientações em que dentro de cada rectângulo planeia-se o traçado de voo como no caso anterior. (Redweik, 2007)

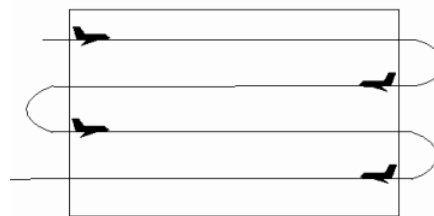


Figura 2.3: Traçado de voo em área de terreno rectangular⁷.

Se a área a levantar for apenas uma faixa estreita de uma fiada de fotografias (ao longo de um rio, estrada e caminho de ferro), o voo terá de ser formado por vários troços rectilíneos mas de direcções variáveis (Figura 2.4) (Redweik, 2007).

⁶ Imagem retirada de Gonçalves, G. R., 2005, p. 67

⁷ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 10

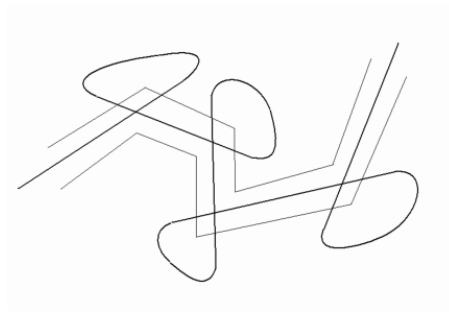


Figura 2.4: Traçado de voo em faixa estreita⁸.

O voo fotogramétrico, nas nossas latitudes, deverá ser realizado no princípio da primavera e no fim do outono quando a cobertura vegetal não apresenta muita folhagem e não prejudica a visibilidade dos elementos que ocupam o solo. A altura do Sol sobre o horizonte também representa um papel imprescindível na altura de fazer o voo fotogramétrico, que costuma ter de ser superior a 30°. Esta especificação relaciona-se com as sombras projectadas (por edifícios e vegetação elevada) e que resulta na dificuldade em visualizar informação nessas áreas (sombreadas) da fotografia. Esta dificuldade pode ser reduzida se se usarem fotografias digitais, uma vez que se pode melhorar a imagem nas áreas obscurecidas. Estando intimamente ligada com a latitude, a altura do sol permitida deve ser adaptada à referida coordenada local e altura do ano. Isto vai fazer com que as missões fotográficas se façam, em geral, a meio do dia, quando o sol atinge as suas maiores alturas acima do horizonte. (Berberan, 2003)

O mapa de voo (Figura 2.5), que pertence ao plano de voo, é elaborado sobre uma carta topográfica da área a levantar. Este deverá conter o traçado planeado para a rota da aeronave em cada fiada. Também deve ser elaborada uma folha ou ficheiro de informações adicionais, que deve estar junto do mapa de voo, onde conste o nome do projecto, a data pretendida para a realização do voo, a escala das fotos, a constante da câmara a utilizar, a altitude absoluta do avião, sobreposições longitudinal e lateral e o tipo de filme ou imagem. (Redweik, 2007)

⁸ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 10



Figura 2.5: Exemplo de um mapa de voo⁹.

2.2. Preparação e Recolha de Pontos Fotogramétricos

Nos pontos fotogramétricos (PFs) é essencial saber, na altura da restituição, quais as suas coordenadas objecto, que deverão ser determinadas em campo. Num bloco de forma rectangular deve haver um ponto duplo em cada canto do bloco, um ponto de 3 em 3 modelos ao longo da primeira e última fiada e em todas as zonas de sobreposição lateral. Os PFs presentes no interior do bloco só necessitam de ter a altitude do ponto determinada, enquanto os das margens necessitam de ter as três coordenadas determinadas (Figura 2.6). (Redweik, 2007)

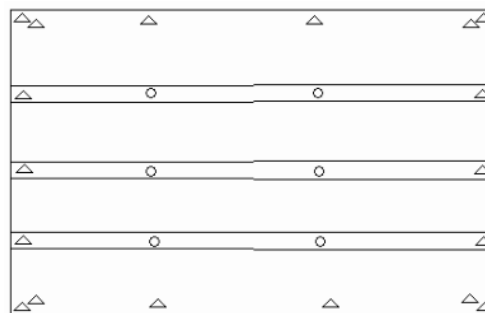


Figura 2.6: Distribuição de Pontos Fotogramétricos num Bloco¹⁰.

A localização e a acessibilidade são dois aspectos importantes no planeamento dos PFs a levantar no terreno. Os melhores locais para recolher PFs são pormenores no solo ou junto ao solo que apresentem uma forma geometricamente bem definida, contrastante com o meio envolvente e de carácter permanente, como por exemplo cruzamento de eixos de vias, inter-

⁹ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 15

¹⁰ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 29

2. Conceitos Teóricos

secção de eixos de valas de irrigação, esquinas de propriedades e objectos isolados. (Redweik, 2007)

A escolha definitiva do ponto fotogramétrico é efectuada no local depois de se verificar as condições envolventes ao ponto. No momento de recolha deve ser preenchida uma folha de campo (Figura 2.7) para cada ponto, que contenha a sua identificação, as coordenadas, um desenho que esclareça a localização do ponto na fotografia e uma descrição do ponto.

Nº da foto: 128	Aparelho: AURTEC
Cód. ponto: 31840083	Ficheiro: PF08 -> (11-CA1330-018) 17.26
Data: 07/07/01	Hora de início: 17 26
Coordenadas: 39°50'26.73" S 4°43'38.83" W	Altitude: 467.2 m

Descrição: Esquina interior do muro (B) do lado de Trunde.

Comentários: Altura da antena - 1.462 m.

Figura 2.7: Exemplo de uma folha de campo¹¹.

2.3. Orientação Externa

A orientação externa tem como principal objectivo obter a atitude e posição do sensor no momento em que recolhe cada fotografia em relação ao referencial espaço objecto (Coelho & Brito, 2007). São necessários seis parâmetros para ter uma orientação externa de uma fotografia aérea. Estes parâmetros são as coordenadas X, Y e Z do centro de projecção da câmara e os ângulos de rotação ω , ϕ e κ , que indicam a atitude do avião no momento em que foi tirada a fotografia aérea (Figura 2.8).

¹¹ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 33

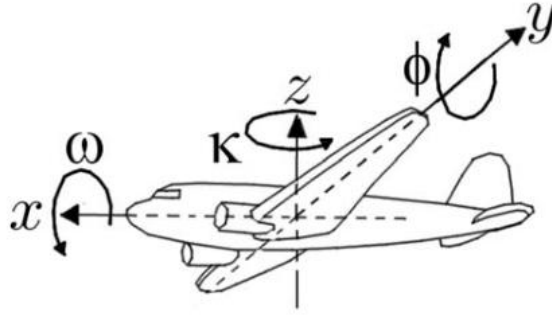


Figura 2.8: Coordenadas X, Y, Z e atitude do avião ω , ϕ , κ ¹².

Conhecidos os elementos de orientação externa pode-se calcular as equações de colinearidade (equação 2.1 e 2.2), em que estabelecem a relação entre coordenadas objecto, num dado sistema de coordenadas rectangulares e o sistema de coordenadas fotográficas, isto implica que no momento em que a fotografia é recolhida, o ponto no espaço objecto, o centro de perspectiva e o ponto na imagem formem uma linha recta. A partir destas equações pode-se estabelecer outras equações que calculam coordenadas tridimensionais de um ponto no terreno devido a conhecer-se os parâmetros de orientação de cada foto, as coordenadas do ponto principal no sistema fotográfico e a distância focal.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - c \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2.1)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2.2)$$

Em que c é a distância focal, ε_0 e η_0 são as coordenadas do ponto principal, X_0, Y_0 e Z_0 são as coordenadas do centro de projecção da câmara, X, Y e Z são as coordenadas tridimensionais de um ponto de controlo no espaço-objeto, ε e η são as coordenadas do ponto de controlo no espaço-imagem. Os coeficientes $r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}$ e r_{33} são referentes à matriz rotação R (equação 2.3) usada no cálculo das equações colineares acima descritas.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

¹² Imagem retirada de Coelho & Brito, 2007, p. 109

2. Conceitos Teóricos

em que:

$$r_{11} = \cos \varphi \cos \kappa$$

$$r_{12} = \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa$$

$$r_{13} = -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$$

$$r_{21} = -\cos \omega \sin \kappa$$

$$r_{22} = -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa$$

$$r_{23} = \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa$$

$$r_{31} = \sin \varphi$$

$$r_{32} = -\sin \omega \cos \varphi$$

$$r_{33} = \cos \omega \cos \varphi$$

Actualmente a orientação externa de cada fotografia já vem determinada com a integração de duas tecnologias, a tecnologia inercial que permite determinar a atitude da câmara e um receptor GPS (*Global Positioning System*) a bordo da aeronave para determinação das coordenadas dos centros perspectivos das fotografias. (Berberan, 2003)

2.4. Aerotriangulação

A aerotriangulação é um processo de pesquisa de pontos conjugados em diferentes fotografias, que irá aumentar a rede de pontos de apoio no bloco de fotografias (Figura 2.9) de forma a conhecer em cada fotografia as coordenadas no terreno. Esses pontos vão servir de ligação entre fotografias e fiadas adjacentes, designando-se por pontos de ligação (*Tie Points*). Os pontos fotogramétricos, obtidos no terreno e que se identificam bem quer na fotografia quer no solo, de coordenadas conhecidas no terreno podem servir de pontos de apoio ou pontos de verificação (*Check Points*), em que neste caso só se usam para verificar os resultados da aerotriangulação (Berberan, 2003).

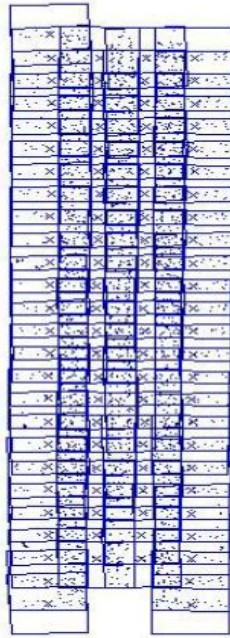


Figura 2.9: Exemplo de um bloco de fotografias aerotriangulado¹³.

Desde a introdução do GPS no levantamento aéreo que houve uma melhoria da qualidade dos resultados, em termos de precisão e fiabilidade, e os custos inerentes à aerotriangulação diminuíram por não ser necessário um forte apoio terrestre. (Berberan, 2003)

A precisão da aerotriangulação varia de acordo com os seguintes e principais factores: o tamanho do bloco de fotografias, a densidade do apoio, o tipo de apoio, o tipo de equipamento para a observação (maior ou menor precisão), a sobreposição lateral e longitudinal, a distância focal da câmara fotográfica, a qualidade da fotografia, a experiência dos operadores, o método de triangulação e a qualidade do apoio topográfico. (Berberan, 2003)

O Instituto Geográfico Português apresenta vários critérios a definir na aerotriangulação com diferentes precisões para a produção de cartografia a diversas escalas (Tabela 2.2). O erro médio quadrático e o desvio padrão em cada ponto ajustado ao terreno e também a diferença entre os pontos da aerotriangulação e os pontos de verificação em planimetria e altimetria são os critérios a avaliar nos resultados obtidos na aerotriangulação. (IGP, 2010)

¹³ Imagem retirada de Redweik, 2007, p. 36

Tabela 2.2: Precisões a obter na aerotriangulação¹⁴.

	Escala da Carta	1/1000	1/2000	1/5000	1/10000
Planimetria	$EMQ_M \leq$	0.06	0.10	0.25	0.40
	Desvio Padrão em cada ponto \leq	0.15	0.26	0.60	1.00
	$EMQ_P \leq$	0.06	0.10	0.25	0.40
	Desvio Padrão em cada ponto \leq	0.15	0.26	0.60	1.00
Altimetria	$EMQ_Z \leq$	0.10	0.17	0.35	0.60
	Desvio Padrão em cada ponto \leq	0.26	0.36	0.95	1.55
Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação	Desvio Planimétrico \leq	0.18	0.30	0.65	1.00
	Desvio Altimétrico \leq	0.20	0.35	0.95	1.50

2.5. Edição do Modelo Digital do Terreno

Apesar de o modelo digital do terreno ser gerado automaticamente, baseado na combinação das fotografias aéreas, o modelo obtido não é o esperado, apresentando anomalias no terreno com a presença de micro relevos, cálculo de artefactos, pequenas cristas e bacias aberrantes sem realidade física (Egels & Kasser, 2002). Para eliminar essas anomalias topográficas procede-se à edição manual do MDT. Esta edição é mais eficiente e terá uma duração mais curta se a qualidade do MDT gerado for bom.

Durante a edição do MDT ocorrem dificuldades devido a diferenças nas imagens. Essas diferenças poderão ser áreas escondidas, superfícies bastante inclinadas, pontos quentes nas fotografias aéreas (*hot spot*), movimentação de veículos e zonas de sombra.

Nas áreas escondidas, geralmente por edifícios, não é possível observar todos os pontos nas duas imagens, fazendo com que não seja possível visualizar e editar a informação coberta numa fotografia em ambiente 3D (Figura 2.10). Uma maneira de ultrapassar este pro-

¹⁴ Os valores presentes na tabela (IGP, 2010) apresentam-se em metros.

blema é fazer com que haja uma maior sobreposição de fotografias aéreas para que pelo menos um ponto consiga ser visualizado pelo menos em duas fotografias.

As superfícies bastante inclinadas, nomeadamente edifícios altos, ocorrem devido a estar no extremo das fotografias aéreas. A inclinação destas superfícies irá causar uma maior dificuldade na visualização em ambiente 3D do edifício.



Figura 2.10: Áreas escondidas e veículos em movimento¹⁵.

Por vezes, em algumas fotografias aéreas, aparecem pontos quentes. Esses pontos, que ocorrem devido a uma reflexão da luz incidente sobre uma superfície que reflecta a luz em direcção à lente da câmara fotográfica (Figura 2.11), impossibilitam a edição do modelo digital do terreno no ponto e na sua zona envolvente (Pappa et al., 2002). Ficando assim uma zona por editar. Para resolver esse problema deve-se usar fotografias com outra perspectiva.

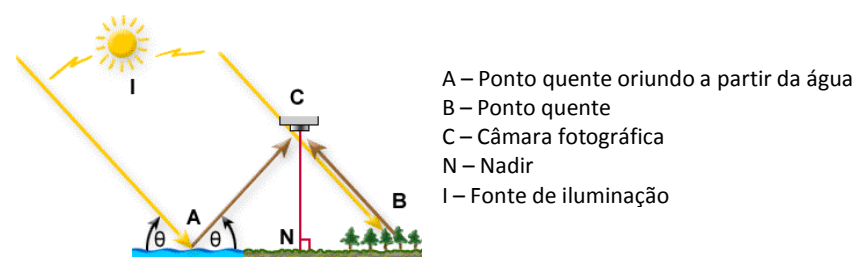


Figura 2.11: Formação de um ponto quente numa fotografia aérea¹⁶.

A movimentação de veículos (Figura 2.10) pode fazer com que ocorra problemas de correspondência entre fotografias, devido ao facto de os veículos e as sombras variarem de fotografia para fotografia. Em ambiente 3D os veículos em movimento não dão uma perspectiva a três dimensões, assim como as sombras, em que no processo de edição do MDT pode reconstruir elevações irrealistas.

¹⁵ Imagem retirada de Egels & Kasser, 2002, p. 186

¹⁶ Imagem retirada do sítio da internet do Canada Centre for Remote Sensing. Sítio consultado a 23/04/2011. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/glossary/index_e.php?id=3133

O modelo digital do terreno gerado apresenta elevações indesejadas (Figura 2.12), principalmente em zonas urbanas, sendo necessária a edição manual do MDT. Para fazer essas correcções é necessário efectuar uma interpolação dos pontos gerados no MDT e se necessário usar linhas de quebra para obrigar a que o modelo digital do terreno seja como se apresenta o terreno na realidade e depois efectuar a interpolação (Egels & Kasser, 2002).

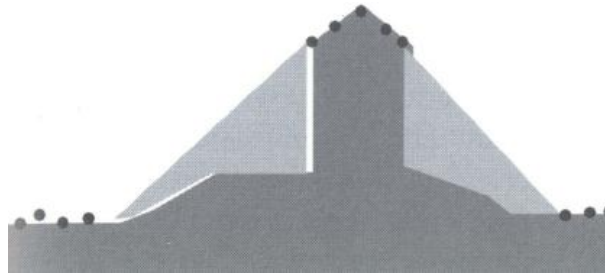


Figura 2.12: Pontos gerados em edifícios¹⁷.

Mesmo depois de editado, o modelo digital do terreno pode apresentar alguns erros, devido à má edição do MDT com alguns pontos a estarem muito elevados ou afundados em relação ao terreno. Nas Figura 2.13 e Figura 2.14 pode ver-se exemplos destes casos no modelo digital do terreno presente no Google™ earth.



Figura 2.13: Ponto afundado em relação ao terreno¹⁸.

Na Figura 2.14 pode-se ver pontos mal gerados na figura da esquerda, provocando dois picos no MDT e na figura do lado direito verifica-se que a ponte não foi rebatida para o terreno, apresentando assim uma elevação inexistente no terreno.

¹⁷ Imagem retirada de Egels & Kasser, 2002, p. 201

¹⁸ Imagem retirada do Google™ earth a 14 de Abril de 2011.



Figura 2.14: Pontos elevados em relação ao terreno¹⁹.

2.6. Criação de Ortofotos e Correção do Mosaico

Uma ortofoto é uma imagem (geralmente aérea) que foi geometricamente rectificadas de forma a tornar-se sobreponível em qualquer lugar ou mapa (Egels & Kasser, 2002).

O processo de produção de ortofotos implica o conhecimento de dois parâmetros, os dados da aquisição da imagem (a orientação da imagem, posição espacial da câmara) e o modelo digital do terreno. A precisão das ortofotos criadas está associada à qualidade destes dois parâmetros (Egels & Kasser, 2002). Após a introdução destes dois parâmetros as ortofotos são calculadas procedendo depois à criação de um mosaico (onde estarão as imagens rectificadas) e em seguida um equilíbrio radiométrico (Figura 2.15).

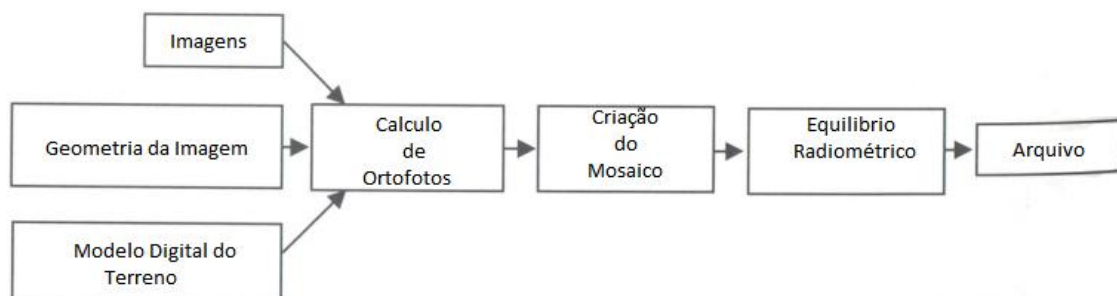


Figura 2.15: Processo de produção de ortofotos digitais.

Durante o seu processo de produção ocorrem alguns problemas, entre os quais o equilíbrio radiométrico, o aparecimento de pixéis rabiscados e a geometria do conteúdo das fotografias na criação do mosaico.

Por vezes o mosaico criado apresenta uma diferença de cores de foto para foto (Figura 2.16). Este problema acontece mais quando são usadas câmaras fotografias analógicas e pos-

¹⁹ Imagens retiradas do Google™ earth a 14 de Abril de 2011.

teriormente uma digitalização através de um *scanner*. Para não acontecer o que se passou na Figura 2.16 usando uma digitalização de fotografias analógicas é necessário um procedimento eficiente da validação das operações de digitalização para produção em cadeia. A substituição do filme durante a missão aérea, a modificação do processo do filme químico ou o problema na calibração do *scanner*, são muitos factores que ocorrem e geralmente localmente para as deficiências encontradas no mosaico. Nas fotografias digitais obtidas através de câmaras fotográficas digitais não acontece uma diferença de cores muito elevada no mosaico, no entanto se o tempo usado na missão do voo for bastante elevado, pode proceder-se a uma variação de cores quando o mosaico for criado (Egels & Kasser, 2002).

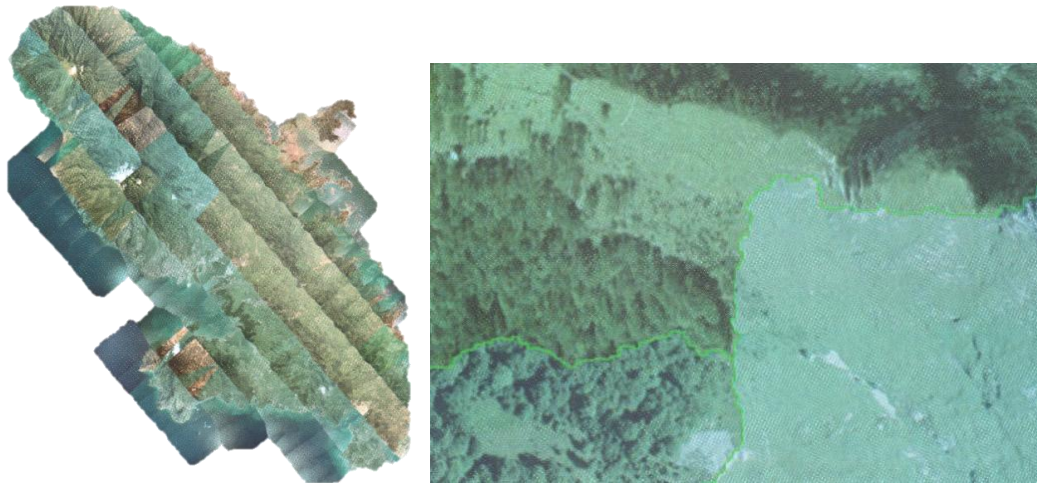


Figura 2.16: Diferença radiométrica no mosaico criado²⁰.

A inclinação dos edifícios em zonas urbanas provoca um problema na criação do mosaico, fazendo com que no cálculo automático da criação das linhas de cosedura entre as diferentes ortofotos não ocorra conforme o esperado. Procedendo-se assim a uma correcção manual das coseduras do mosaico (Egels & Kasser, 2002). Para evitar que fiquem edifícios rebatidos para um lado e outros para outro lado como se pode ver na Figura 2.17.



Figura 2.17: Exemplo de correcção manual das coseduras do mosaico criado²¹.

²⁰ Imagens retiradas de Egels & Kasser, 2002, p. 293 e 297

Outro dos problemas encontrados nos ortofotos, que também gera um problema na correcção do mosaico, são os pixéis rabiscados (Figura 2.18) devido a uma má edição do modelo digital do terreno, que pode ter sido criada devido há presença de zonas de sombra, impossibilitando assim a noção de profundidade durante a edição do MDT.

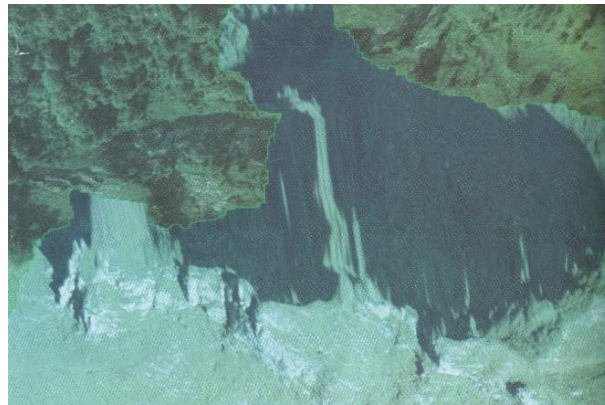


Figura 2.18: Pixéis rabiscados no mosaico²².

Após criar as ortofotos, estas podem derivar em ortofotomapas que apresentam as características que se quer ressaltar desenhadas sobre os ortofotos. Pode-se também usar os ortofotos para restituir uma carta completa da região fotografada (Coelho & Brito, 2007).

²¹ Imagens retiradas de Egels & Kasser, 2002, p. 295

²² Imagem retirada de Egels & Kasser, 2002, p. 296

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

3.1. Planeamento e Voo Fotogramétrico

3.1.1. Planeamento de Voo

Para efectuar o planeamento do voo fotogramétrico recorreu-se ao *software* da IGI (*Ingenieur-Gesellschaft fur Interfaces*), o WinMP. É necessário introduzir a informação do sensor da câmara fotográfica digital, configurar os sistemas de unidades, seleccionar o sistema de coordenadas a que pertence a zona a levantar, especificar a sobreposição frontal de 60% e a sobreposição lateral de 30% e a informação relativa ao avião (tempo de viragem do avião entre fiadas e a velocidade em relação ao chão) para poder realizar o planeamento. É necessário também introduzir um mapa referenciado e um MDT da zona a levantar (Figura 3.1). A zona a levantar foi criada no ArcGIS e exportada no formato DXF para introduzir no programa de planeamento de voo.

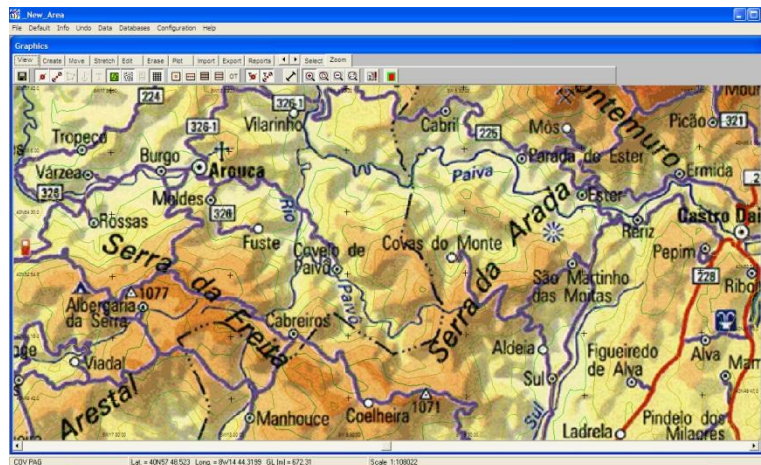


Figura 3.1: Mapa e MDT introduzido.

O mapa introduzido no programa é a carta militar de 1/500 000 de Portugal continental e o MDT utilizado foi o modelo obtido pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para a zona de Portugal continental. O SRTM obtém dados da elevação numa escala quase global para gerar a maior base de dados topográfica completa de alta resolução digital da Terra (*Shuttle Radar Topography Mission*, 2009). Este MDT vai permitir saber qual a elevação do terreno a levantar e consequentemente a altura a que o avião deve ir para não haver partes em que não exista a sobreposição pretendida.

O relatório do planeamento de voo (exemplo nos anexos) pode ser exportado para PDF onde se pode verificar o número de fotografias por fiada, a distância de cada fiada, o número total de fotos, a distância total percorrida durante a recolha das fotografias e o tempo estimado para do levantamento (Figura 3.2).

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	2703	2702	1	10294	60	152	25	43	6.364
2	1	2722	2702	21	10294	60	152	15	35	5.152
3	1	2722	2702	20	10294	60	152	15	36	5.303
4	1	2719	2702	17	10294	60	152	16	59	8.789

Total number of lines / segments: 4 / 4

Total number of photos: 173

Total line length [km]: 25.61

Estimated project time [hh:mm]: 00:21 (130.0 kts, 05:00 min per turn)

Figura 3.2: Parâmetros obtidos no relatório de planeamento de voo.

3.1.2. Voo Fotogramétrico

O voo fotogramétrico efectuado ocorreu sobre parte do distrito de Aveiro no dia 3 de Novembro de 2010 com uma aeronave Cessena T210L Centurion II.

Foi necessária a instalação dos componentes necessários para o levantamento fotográfico no avião. Foi então instalada a plataforma giro-estabilizadora GSM3000, de forma a anular os movimentos do avião e manter a câmara na vertical (na direcção do nadir), a câmara fotográfica da Hasselblad DigiCAM-H/39 e o sistema inercial de medição (Figura 3.3). Para armazenar os dados provenientes do receptor GNSS, usado em modo diferencial, do sistema inercial e as fotografias tiradas durante o voo foi necessário instalar uma mesa com discos onde também estará o *software* de navegação e gestão de voo da IGI, o CCNS4 (*Computer Controlled Navigation System, 4th generation*) que indica a localização das fiadas onde vão ser recolhidas as fotografias aéreas (Figura 3.3).

Após a instalação dos componentes é necessária a ligação do *software* para o giroscópio do IMU (*Inertial Measurement Unit*) definir o zero, definir a abertura de lente da câmara. Já no ar, é necessário definir no *software* qual é a primeira fiada que vai ser sobrevoada e em que sentido, de modo a que o piloto navegue até ao local pretendido e que o *software* inicie automaticamente a recolha de fotografias aéreas.



Figura 3.3: Componentes necessários no levantamento de fotografias aéreas.

Por vezes ocorrem alguns inconvenientes durante o voo fotogramétrico como por exemplo a existência de outros aviões, na zona que se pretende levantar, à altitude pretendida para obter as fotografias aéreas, sendo obrigado pela torre de controlo a mudar de altitude e interrompendo a fiada. A condicionante meteorológica é outro inconveniente que pode afectar a recolha de fotografias aéreas. Para evitar este inconveniente tem de se analisar o estado do tempo no dia anterior ao voo e no próprio dia para verificar se o céu se encontra limpo.

3.2. Correção e mudança de formato das fotografias aéreas

Para tratar e mudar o formato das fotografias aéreas foi necessário um editor RAW fornecido pelo fabricante da máquina fotográfica digital, a Hasselblad. As fotografias aéreas obtidas pela câmara digital vêm num formato RAW, com a extensão .3fr, em que, para se poder fazer um tratamento de imagem é necessário exportar as fotos para o formato RAW com a extensão .fff (Figura 3.4). Estes novos ficheiros irão ter um prefixo e o nome da fotografia definidos pelo operador. O nome das fotografias deve conter o número da fiada e o número da fotografia, para uma melhor identificação da mesma. Nestas fotografias é aplicado um filtro padrão RGB.

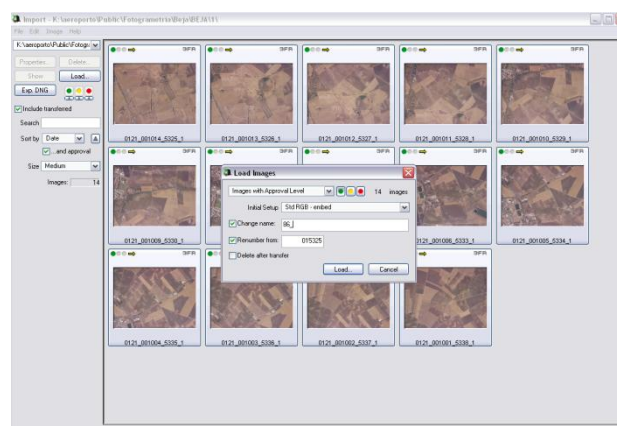


Figura 3.4: Exportação das fotografias aéreas com a extensão .3fr para .fff.

Após exportar as fotografias para a extensão .fff podemos efectuar uma alteração de histograma nas fotografias aéreas de forma a torna-las, visivelmente, mais definidas e com uma cor mais apelativa (Figura 3.5). Posteriormente grava-se um filtro com as alterações adoptadas e aplica-se às restantes fotografias. Geralmente usa-se o mesmo filtro para todas as fiadas do voo, se as condições de luminosidade não alterarem durante o voo, para que todas as fotografias mantenham o mesmo tom de cor, reduzindo assim a diferença radiométrica entre as diferentes fotografias.

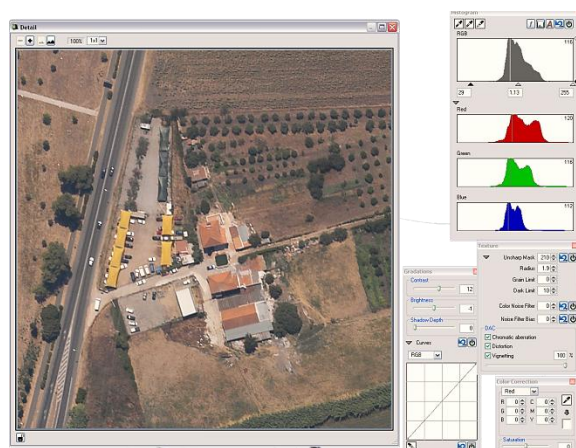


Figura 3.5: Alteração de Histograma.

3.3. Processamento de dados GNSS

Para processar os dados GNSS, recorrendo ao *software* GrafNav, da Novatel, é necessário aceder à rede RENEP (Rede Nacional de Estações Permanentes), pertencente ao IGP (Instituto Geográfico Português), ou à rede SERVIR (Sistema de Estações de Referência GPS VIRTuais) pertencente ao IGeoE (Instituto Geográfico do Exército), para retirar os ficheiros RINEX das bases usadas, nos dias em que o voo fotogramétrico foi efectuado. Estes ficheiros devem ser convertidos para o formato GPB, para se proceder o processamento. É necessário ter em atenção as diferenças existentes entre os diferentes sistemas de coordenadas (a rede SERVIR opera no sistema de referencia ITRF2005 e a rede RENEP no sistema de referencia ETRS89) e usar o sistema de coordenadas correcto para que não haja discrepâncias de coordenadas.

Após os ficheiros RINEX serem convertidos cria-se um novo projecto no GrafNav para processar os dados GNSS. Para isso adiciona-se as informações das bases recolhidas no IGP ou IGeoE e a informação presente no cartão de dados do voo com os dados GNSS recolhidos e inicia-se o processamento (Figura 3.6).

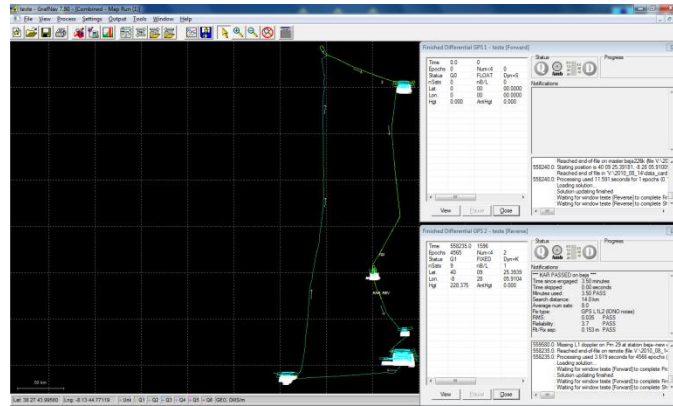


Figura 3.6: Processamentos de dados GNSS.

No fim efectua-se um novo processamento para melhorar a solução obtida com o primeiro processamento, com novas medidas de código e fase. E em seguida exporta-se a informação para a criação da orientação externa.

O processamento dos dados GNSS através de um modo diferencial usando estações de referência como bases melhora significativamente os resultados obtidos pelo receptor GNSS presente na aeronave.

3.4. Orientação Externa

Na criação da orientação externa recorreu-se ao *software* da IGI, o AeroOffice. No cálculo da orientação externa é efectuado um pré-processamento com os dados obtidos pelo IMU. Após o pré-processamento faz-se um pós-processamento com a solução GNSS obtida com o GrafNav.

Os resultados obtidos podem ser visualizados através de gráficos criados no *software*. Na Figura 3.7 pode-se ver a trajectória da aeronave, durante a recolha de fotografias aéreas na cidade de Beja, através dos dados do sistema inercial.

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

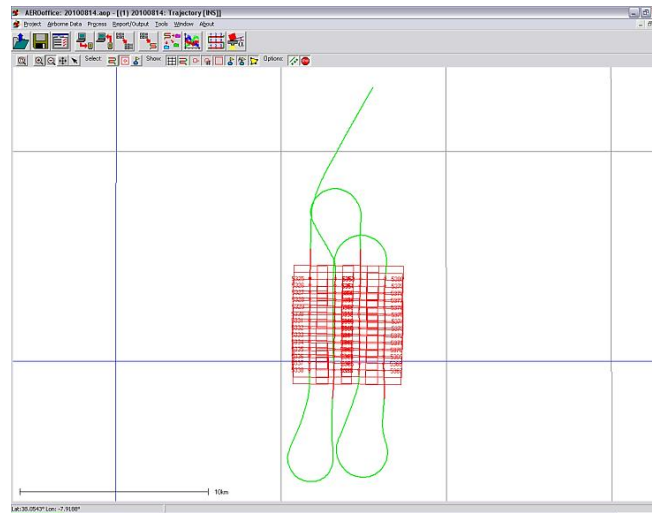


Figura 3.7: Trajecto da aeronave através dos dados do sistema inercial.

A Figura 3.8 representa as componentes *pitch* e *roll* da atitude do sistema inercial onde se pode verificar que, durante o momento em que as fotografias aéreas estavam a ser recolhidas, o avião estava nivelado em relação ao horizonte, mantendo o desvio do avião a 0°. Pode-se também calcular o tempo de cada viragem da aeronave e o tempo que demora a percorrer cada fiada.

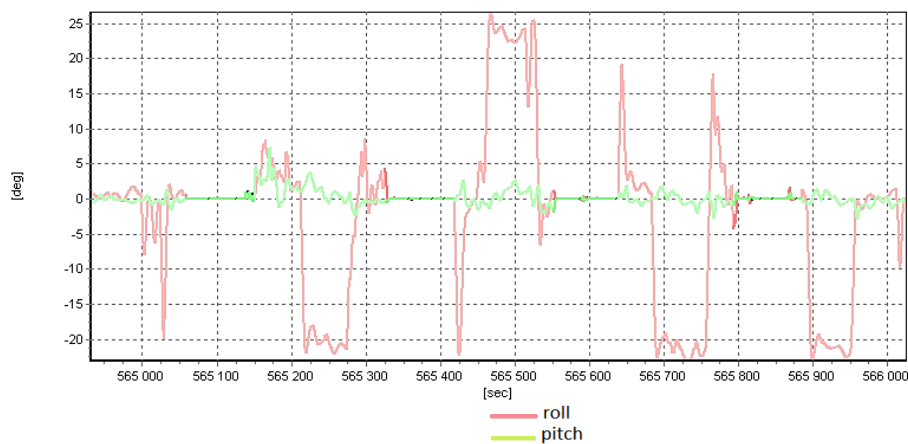


Figura 3.8: Variação da atitude da aeronave.

Na Figura 3.9, referida à diferença de posição entre o receptor GNSS e o INS (*Inertial Navigation System*), verifica-se que a componente representativa da altitude apresenta erros superiores às componentes horizontais. Apresentando uma diferença à volta dos 5 cm nas componentes horizontais e um máximo de 25 cm na componente vertical.

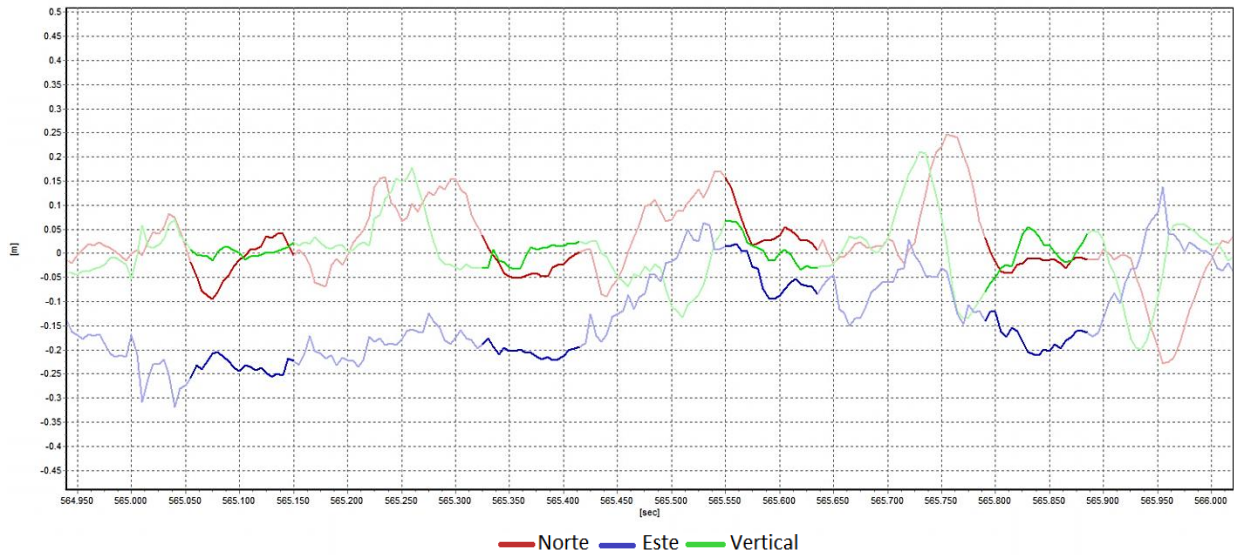


Figura 3.9: Diferença de posição entre o receptor GNSS e INS

Nas Figura 3.10 e 3.11 confirma-se os resultados obtidos na figura 3.9, em que o erro médio quadrático da posição dos dados obtidos pelo receptor GNSS e pelo INS apresentam um valor superior em altitude do que nas componentes horizontais, sendo que o erro da componente vertical é da ordem dos 3 metros através dos dados GNSS e 18 cm através do INS.

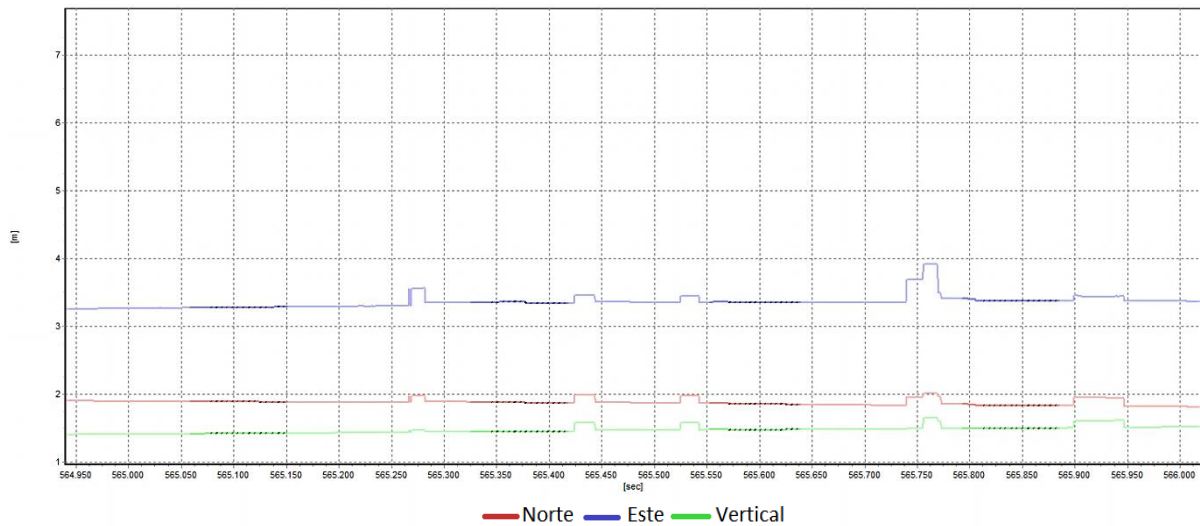


Figura 3.10: Erro médio quadrático da posição dos dados do receptor GNSS.

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

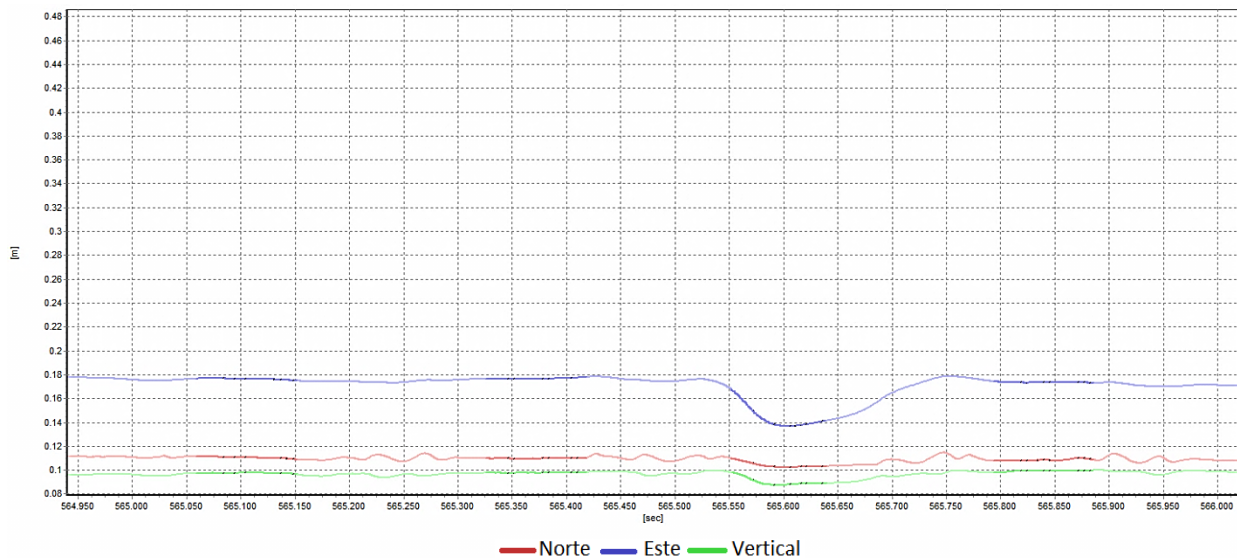


Figura 3.11: Erro médio quadrático da posição dos dados INS.

Como se pode verificar na Figura 3.9 e 3.11 a terceira fiada foi a que obteve um melhor resultado em relação à altitude, que foi influenciada pela descida dos valores obtidos pelo INS no momento da captura das fotografias na terceira fiada.

Por fim exporta-se o ficheiro da orientação externa (Figura 3.12) para introduzir no editor do projecto, no “Applications Master” para proceder à atribuição da orientação nas fotografias.

```
* Project:      Beja_cidade .
* Program:     GrafNav Version 7.80.2315 .
* Profile:     IGI AEROCTRL .
* Source:      GPS Epochs(Combined) .
* ProcessInfo: Run (4) by Unknown on 11/08/2010 at 16:15:19 .
* Datum:      WGS84, (processing datum) .
* Master 1:    Name tavi, Status ENABLED .
* GPS-Leverarm: -0.074m 0.074m -0.969m .
* GPS-Leverarm: variable .
* Mount-Center-Leverarm: -0.102m 0.000m 0.102m .
*
*
*****
*
*
* Selected Units:
* Angular Units: Degree (0..360°)
* Length Units: Meter
*
* Format:
* ID Easting Northing Height Omega Phi Kappa
*
* Output of event data
* File will contain 56 online Events
*
# LINE 001
15325      22014.775 -180770.918      2999.953      0.17270 -
0.18269 -90.39310
15326      22013.926 -181143.360      3002.648      0.18892 -
0.19043 -90.33869
15327      22013.787 -181516.811      3005.412      0.16386 -
```

Figura 3.12: Ficheiro da orientação externa obtido pelo “AeroOffice”.

3.5. Pontos Fotogramétricos

Para realizar uma boa aerotriangulação é necessário retirar alguns pontos no terreno, pontos fotogramétricos. Durante o estágio foram recolhidos pontos fotogramétricos no conce-

lho de Matosinhos e no concelho de Aveiro. Nos anexos pode-se ver as folhas de campo utilizadas na recolha de alguns pontos.

3.5.1. Recolha de pontos fotogramétricos

Na escolha dos pontos fotogramétricos, estes devem estar, assim que possível, num local que possa ser facilmente identificável nas fotografias aéreas. Por exemplo esquinas de passeios, parques de estacionamento e marcas nas estradas (Figura 3.13).



Figura 3.13: Exemplo de um ponto a ser levantado.

No acto da recolha é necessário ter em atenção a altura da antena, o sistema de referência que está a ser usado no momento da recolha dos pontos, a data e a hora do momento em que foi recolhido o ponto, efectuar um croqui do local e efectuar algumas observações que sejam necessárias (por exemplo uma mudança de local de recolha do ponto devido ao ponto a recolher estar obstruído).

No concelho de Matosinhos foram recolhidos onze pontos fotogramétricos, no dia 17 de Janeiro de 2011, através da caderneta Trimble R4 e do receptor 5800 da Trimble. Estes pontos (Figura 3.14) foram retirados em ETRS89 usando o modo diferencial em tempo real, usando a rede RENEP, obtendo informação da base de Gaia. Como a base de Gaia só recebe dados de satélites do sistema GPS, os pontos fotogramétricos foram recolhidos usando somente os satélites do sistema GPS, porque não tinha informação para os satélites do sistema GLONASS (*Global Navigation Satellite System*).

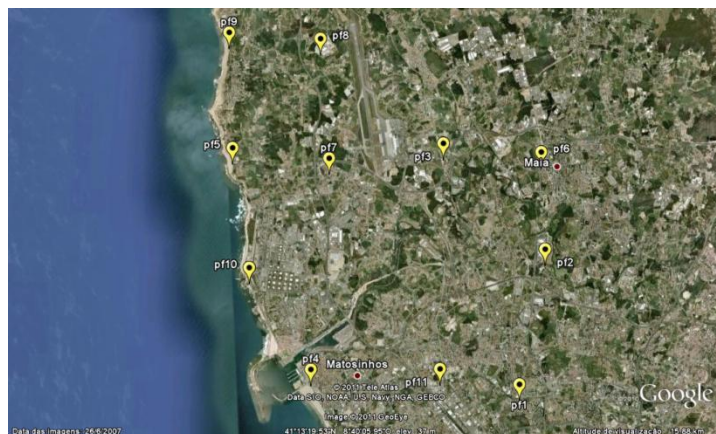


Figura 3.14: Localização dos pontos fotogramétricos no concelho de Matosinhos.

O PDOP (*Position Dilution of Precision*) dos pontos encontra-se entre 1.8 e 3.3. Os satélites do sistema GPS observados variaram entre 6 a 8. O PDOP elevado dá-se devido à localização do ponto, que se encontra numa zona de edifícios ou árvores elevadas, ocultando assim satélites que poderiam ser detectados e melhorar a precisão do ponto.

No distrito de Aveiro foram recolhidos cinquenta e um pontos fotogramétricos, dispersos pelos vários concelhos, nos dias 19 e 20 de Abril de 2011, através da caderneta Trimble R4 com o receptor 5800 da Trimble. Estes pontos (Figura 3.16) foram obtidos em Datum73, pelo que foi necessário efectuar uma transformação local na caderneta (Figura 3.15), através dos dados dos marcos geodésicos de primeira e segunda ordem presentes na zona a levantar. Os pontos foram recolhidos em modo diferencial em tempo real, usando a rede RENEP, obtendo informação da base de Águeda na parte sul do distrito, e de São João da Madeira na parte norte do distrito. Na Figura 3.15 vê-se um exemplo de o marco geodésico de Leça com as coordenadas em WGS84 e em Datum73, antes de se fazer a transformação local (figura da esquerda) e depois da transformação local (figura da direita), sendo a distância entre os pontos superior a 2 m antes da transformação e após é inferior a 1 cm.

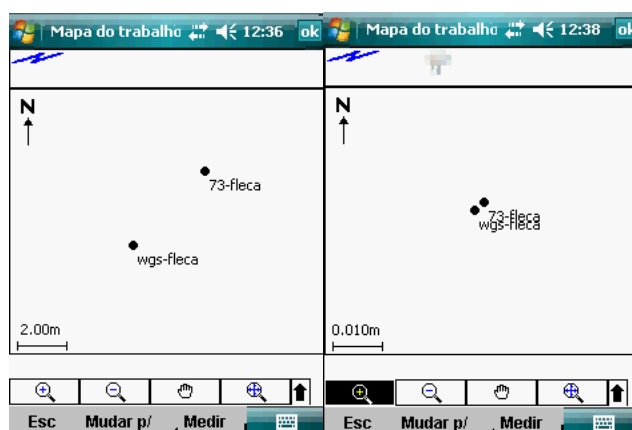


Figura 3.15: Transformação local na caderneta.

Os pontos fotogramétricos no distrito de Aveiro foram recolhidos usando os satélites do sistema GPS e GLONASS que variaram entre 11 a 16 satélites. O PDOP dos pontos encontra-se entre 1.2 e 2.1.

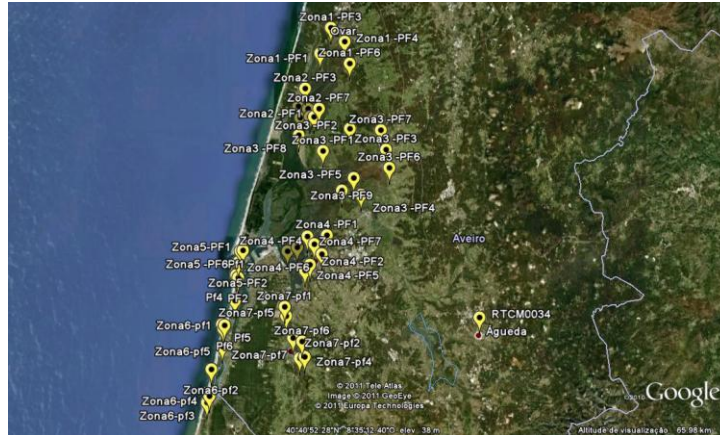


Figura 3.16: Localização dos pontos fotogramétricos no distrito de Aveiro.

3.5.2. Introdução de pontos fotogramétricos no projecto

Para introduzir os pontos fotogramétricos no projecto é necessário proceder à importação dos pontos para o editor do projecto no “ApplicationsMaster” (Figura 3.17).

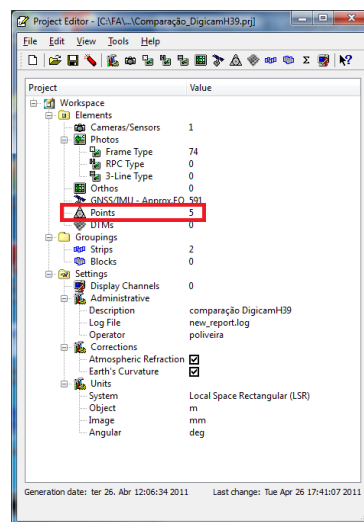


Figura 3.17: Introdução de pontos no “ApplicationsMaster”.

Após a importação dos pontos fotogramétricos é necessária a atribuição dos pontos nas fotografias aéreas, para isso recorre-se ao “Multi Photo Measurement...” (Figura 3.18) que pertence ao pacote de aerotriangulação, “MATCH-AT”, do “ApplicationsMaster”.

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

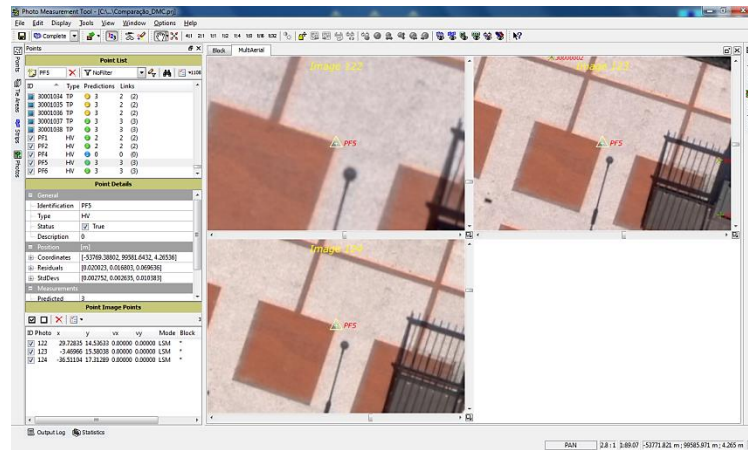


Figura 3.18: Atribuição de pontos fotogramétricos nas fotografias aéreas.

A atribuição dos pontos pode ser manual, semiautomática ou totalmente automática. Nos projectos envolvidos, a atribuição dos pontos foi feita através do modo manual devido ao facto de nos outros modos de atribuição, o *software* deslocar alguns pontos do local onde deveriam estar marcados.

3.6. Aerotriangulação

Após todo o processo de preparação do projecto estar concluído, as definições da câmara digital/sensor, a introdução das fotografias aéreas, introdução dos dados da orientação externa, geração das *strips* (identificação das fiadas), geração das pirâmides (permite criar a sobreposição das fotografias) e a introdução e marcação nas fotografias aéreas dos pontos fotogramétricos, pode-se proceder à execução da aerotriangulação.

Para processar a aerotriangulação usa-se o “Aerial Frame Triangulation”, pertencente ao pacote de aerotriangulação, MATCH-AT, do “ApplicationsMaster”.

Na aerotriangulação, geralmente efectuem-se dois processamentos, um primeiro processo para extrair automaticamente pontos de ligação entre fotografias no terreno com um ajuste do bloco (Figura 3.19). O segundo processamento é um pós processamento que é usado para melhorar os resultados obtidos nos pontos de ligação criados no primeiro processamento e eliminar alguns erros na orientação do bloco que possam ter ocorrido no primeiro processamento (Figura 3.19).

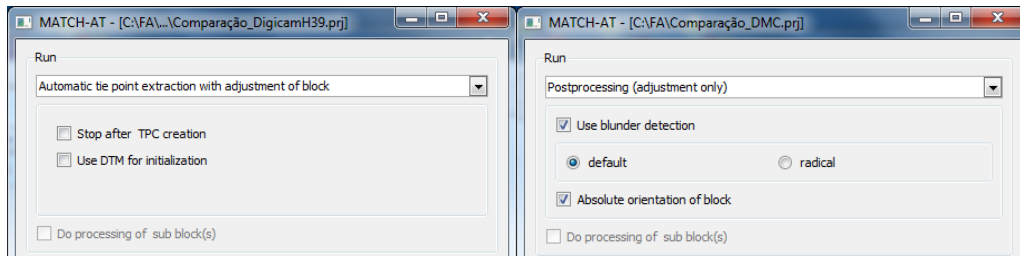


Figura 3.19: Processamento e pós-processamento da Aerotriangulação

Após o processamento da aerotriangulação pode-se analisar os resultados e verificar se necessita de um novo processamento ou não. Os resultados na Figura 3.20 são referentes à aerotriangulação do projecto do concelho de Matosinhos. Onde se pode verificar os desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno, obtidos pela aerotriangulação.

Standard deviations				
	X	Y	Z	
mean	0.044	0.051	0.251	
max	0.125	0.194	0.762	
min	0.019	0.019	0.089	
# points:	58707			

Figura 3.20: Resultado do pós-processamento da aerotriangulação do concelho de Matosinhos.

Com estes resultados pode-se verificar que os pontos ajustados ao terreno apresentam um desvio padrão máximo em planimetria menor que 0.20 m e em altimetria um desvio padrão máximo de 0.77 m. Em relação ao desvio padrão médio, em planimetria a média é menor do que 0.051 m e em altimetria menor do que 0.251 m. Isto implica que os pontos de ligação criados no processamento da aerotriangulação sejam bastante bons em planimetria e bons em altimetria cumprindo os requisitos propostos pelo IGP (2010) para a criação de cartografia à escala 1:5000.

Também se pode verificar as ligações dos pontos de ligação criados ajustados ao terreno na aerotriangulação no “Multi Photo Measurement...”. Na Figura 3.21 verifica-se que as ligações entre os sectores das fotografias aéreas (representadas por círculos vermelhos ou verdes) estão boas na sua maior parte do projecto (aparecem a verde) excepto nas zonas limite da área voada e na zona do porto de leixões (lado esquerdo da Figura 3.21) onde se encontra mais água, portanto o programa não consegue encontrar pontos coincidentes nas várias fotos, daí haver más ligações entre os sectores das fotos (aparece a vermelho). Os pontos representados na Figura 3.21 representam as ligações entre os pontos dos diversos sectores, em que se pode verificar que onde há mais ligação de pontos (pontos verdes e amarelos) é onde ocorre maior sobreposição de fotografias aéreas.



Figura 3.21: Análise da ligação dos pontos gerados na aerotriangulação.

3.7. Modelo Digital do Terreno

Com a aerotriangulação criada, pode-se gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) e posteriormente fazer a sua edição.

3.7.1. Geração do Modelo Digital de Terreno

Para gerar o MDT é necessário recorrer ao pacote “MATCH-T DSM” presente no “ApplicationsMaster”. Depois de abrir o “DTM/DSM Generator...” tem de se especificar alguns parâmetros para gerar o MDT necessário para a zona a trabalhar (Figura 3.22). Os parâmetros a especificar é o tipo de região a ser trabalhada e o tamanho mínimo da grelha a ser gerada.

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

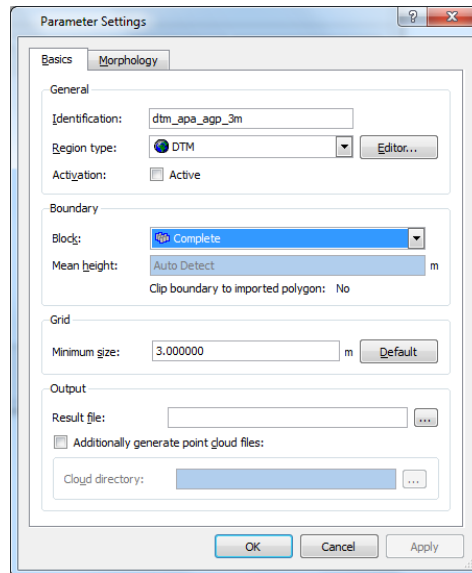


Figura 3.22: Parâmetros para gerar o MDT.

No tipo de região a ser gerada pode-se escolher entre MDT e um Modelo Digital de Superfície. Nos projectos desenvolvidos foram gerados apenas modelos digitais do terreno. O tipo de terreno no MDT pode variar entre plano, ondulado, montanhoso ou extremo, para isso convém ter uma noção do tipo de terreno (Figura 3.23). O tamanho mínimo da grelha a ser gerada varia com o tamanho do *pixel* a que a fotografia foi recolhida no voo fotogramétrico.

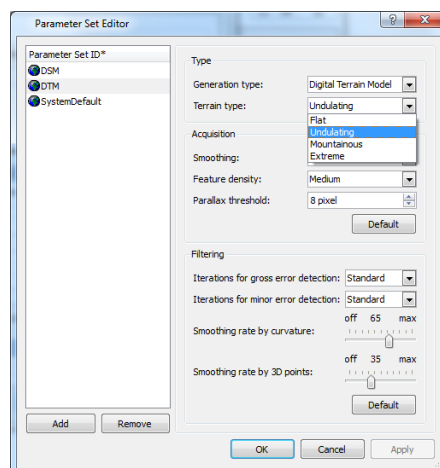


Figura 3.23: Escolha dos parâmetros do tipo de região do MDT.

No MDT gerado para o projecto da cidade de Beja e para o projecto do porto de Aveiro escolheu-se um tipo de terreno ondulado, por Beja ser uma cidade com várias ondulações e o porto de Aveiro apresentar algumas ondulações. A grelha gerada para o projecto da cidade de Beja, como foi um voo a 25 cm (com uma altura de voo de 2706 m), foi de 7 metros, enquanto o projecto para o Porto de Aveiro já foi gerada uma grelha de 3 metros, devido ao voo ser efectuado a 7 cm (com uma altura de voo a 780 m). O voo de Beja, tendo sido voado a

uma altura superior à do voo do Porto de Aveiro apresenta uma escala fotográfica mais pequena.

O algoritmo usado pelo programa para gerar o MDT é baseado no reconhecimento da tonalidade de cores presentes nas fotografias aéreas. Devido à utilização deste algoritmo, o modelo gerado apresenta mais falhas nas zonas de água devido às diferentes tonalidades que a água demonstra, apresentando valores no terreno muito acima e abaixo do real. Outras zonas mal geradas são as zonas de edifícios e árvores de grande porte, em que os pontos não são totalmente rebatidos para o terreno. Portanto para rebater os pontos para o terreno é necessário fazer uma edição do MDT.

3.7.2. Edição do Modelo Digital de Terreno

Após gerar o MDT é necessário fazer a sua edição, através do uso da estereoscopia, para rebater os pontos que possam estar elevados, por exemplo em cima de edifícios e árvores, e moldar o terreno tal como ele é. Na Figura 3.24 consegue-se ver os pontos elevados, antes de o MDT ser editado (figura do lado esquerdo) e depois de ser editado (figura do lado direito).

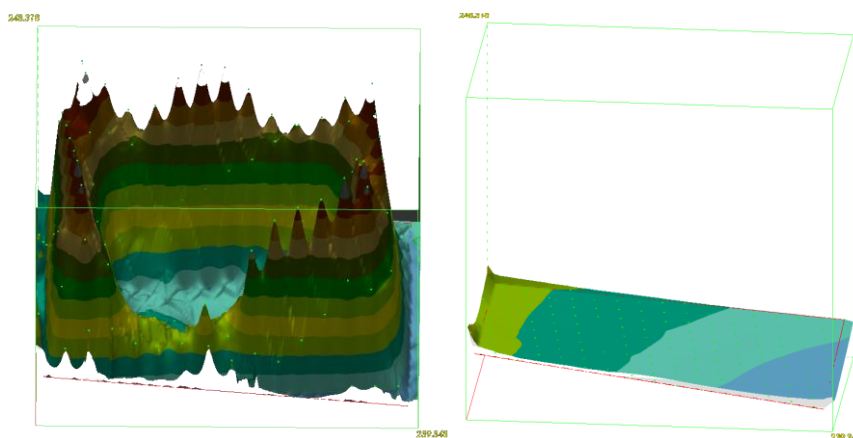


Figura 3.24: Eliminação de pontos elevados na edição do MDT.

Para rebaixar estes pontos é necessária a utilização de linhas de quebra (*BreakLines*) e depois efectuar uma interpolação dos pontos. A linha de quebra deve ser colocada em cima do terreno. Na Figura 3.25 pode-se ver as linhas de quebra que foram introduzidas no projecto do concelho de Lisboa (figura da esquerda) e da cidade de Beja (figura da direita).

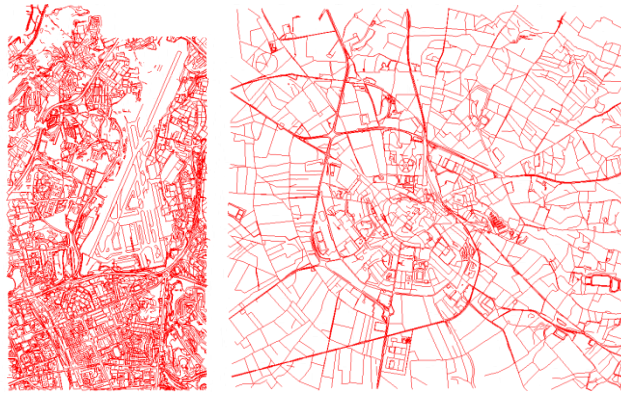


Figura 3.25: Linhas de quebra usadas no projecto de Lisboa e Beja.

Como se pode ver pela Figura 3.25 o projecto de Lisboa apresenta mais linhas de quebra do que a cidade de Beja. Este número elevado de linhas de quebra em Lisboa dá-se ao facto de a cidade de Lisboa apresentar muito mais detalhe que a cidade de Beja. E como o voo em Lisboa foi feito a 8 cm (altura de voo de 941 m) e em Beja a 25 cm (altura de voo de 2706 m), também faz com que a edição do MDT de Lisboa seja mais trabalhosa o que obriga a um nível de detalhe superior ao da cidade de Beja.

O programa gera automaticamente curvas de nível que têm de estar o mais suavizado possível para que os ortofotos não apareçam “esborratados”. Na Figura 3.26 pode-se ver as curvas de nível de Lisboa (figura do lado esquerdo) e Beja (figura do lado direito). As curvas de nível presentes na Figura 3.26 têm um espaçamento de 5 metros em que as curvas nível variam entre 10 m e 165 m em Lisboa e entre 165 m e 285 m em Beja. Estas alturas são alturas ortométricas.

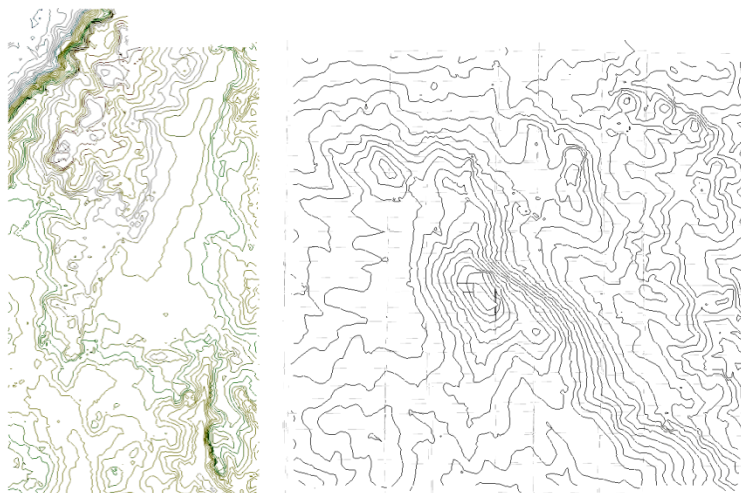


Figura 3.26: Curvas de nível em Lisboa e Beja.

Na edição do MDT encontraram-se alguns problemas para além do cansaço do operador se estiver muitas horas seguidas a visualizar o terreno em 3D, o que pode levar à falsa percepção de profundidade. Nas zonas de sombra não é possível saber qual a altitude correcta a que está o terreno, podendo, na criação de linhas de quebra, levar com que se ponha o ponteiro do rato mais elevado ou baixo que o terreno. As zonas tapadas pela inclinação dos prédios nas fotografias, vegetação arbustiva ou árvores também apresentam um problema porque impossibilitam saber como é o terreno por de baixo destas zonas (Figura 3.27).



Figura 3.27: Zona tapadas por prédios e árvores.

Outro problema encontrado foram pontos quentes nas fotografias aéreas, que faz com que não se permita visualizar o terreno no ponto e em volta dele. Na Figura 3.28, na imagem do lado esquerdo não é possível identificar entre o limite da água e do terreno enquanto na figura da direita não é possível verificar o que está por debaixo do ponto quente e como é o aspecto da berma da estrada e do passeio naquela zona, uma vez que também está tapada por vegetação.



Figura 3.28: Pontos quentes nas fotografias aéreas.

Para resolver estes problemas é necessário verificar a altura do terreno na zona envolvente ao problema e nivelar o terreno da melhor forma possível, através de linhas de quebra e respectivas interpolações.

3.8. Ortofotos

Com o MDT gerado e devidamente editado pode-se proceder à criação de ortofotos.

3.8.1. Criação de ortofotos

Para efectuar a criação de ortofotos é necessário o pacote “OrthoMaster” presente no “ApplicationsMaster”. Depois de o MDT estar editado tem de se iniciar o “Ortho Rectification” para poder dar início à criação das ortofotos. Nesta criação é necessário importar o MDT criado e editado e depois proceder à geração de ortofotos (Figura 3.29). Estas ortofotos são geradas automaticamente sendo no entanto necessária a introdução de alguns parâmetros, como por exemplo o tamanho do pixel, o formato de georreferenciação (tiff/tfw, geotif, geotif/tfw...), o método de selecção (fotografia toda ou orto áreas) e o método de reamostragem (vizinho mais próximo, bilinear ou *cubic convolution*).

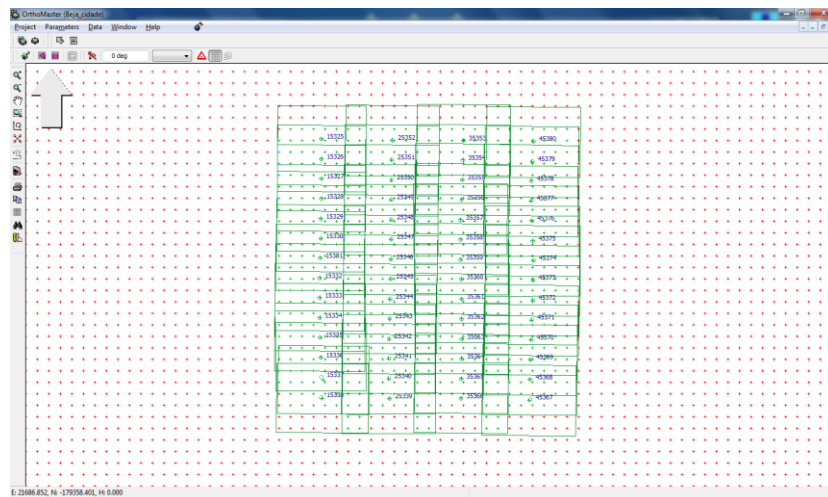


Figura 3.29: “OrthoMaster” com o MDT importado.

Os parâmetros (Figura 3.30) usados na criação das ortofotos nos diversos projectos são os seguintes, para o formato de georreferenciação é usado o tiff/tfw, o método de selecção é a fotografia toda e o método de reamostragem usado é o bilinear.

3. Execução Prática dos processos em Fotogrametria Digital

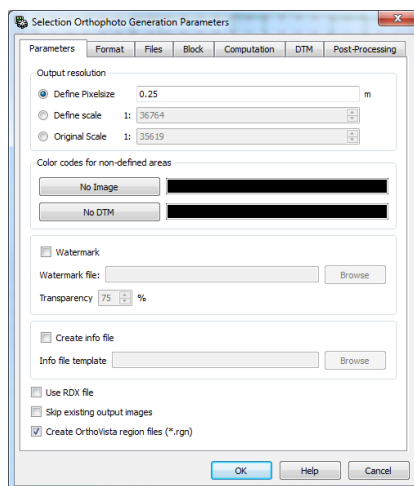


Figura 3.30: Selecção de parâmetros para a criação de ortofotos.

Após a criação das ortofotos segue-se uma análise visual dos ortofotos produzidos para identificar alguns erros que possam apresentar, como por exemplo buracos nas ortofotos (Figura 3.31, figura da esquerda) e a não uniformidade dos edifícios, aparecendo deformados nas imagens, devido à edição do MDT não ter sido correcta (Figura 3.31, figura da direita).



Figura 3.31: Erros nos ortofotos criados.

Depois de a análise visual não encontrar nenhum erro citado no parágrafo anterior é necessária a análise das ortofotos criadas em relação à qualidade da informação produzida. Para isso utiliza-se os pontos fotogramétricos recolhidos no terreno ou os marcos geodésicos devido a terem coordenadas conhecidas no local. Estes pontos são inseridos nas ortofotos através do *software* ArcGIS para verificar se os pontos se encontram no local correcto e para analisar a diferença planimétrica entre o ponto e o local correcto. Os pontos têm de estar no mesmo sistema de coordenadas que as ortofotos.

3.8.2. Concepção e correcção do mosaico

Para conceber o mosaico é necessário o *software* “OrthoVista” e para o corrigir o “Seam Editor” pertencentes à Inpho.

Na criação do mosaico é necessário um ficheiro tile, com a extensão .tsp, (Figura 3.32) para criar uma grelha de regiões que é importado para o “OrthoVista” para depois especificar qual são as regiões em que o mosaico vai ser criado.

```
TileCorner:      -128000    280000
TileSize:   2040  1290
TileSkip:   2000  1250
TilesToWest:    0
TilesToEast:   152
TilesToNorth:   0
TilesToSouth:  465
```

Figura 3.32: Ficheiro tile.

O ficheiro tile presente na Figura 3.32 apresenta diferentes parâmetros. O *TileCorner* especifica as coordenadas XY do canto inferior esquerdo da região que se quer gerar. O *TileSize* mostra a o tamanho que cada região irá ter. O *TileSkip* é o tamanho que a região vai ter sem sobreposição de regiões, o *TileSize* é formado a partir do fim do *TileSkip*. Os outros parâmetros servem para especificar o número de regiões para oeste, este, norte ou sul a partir do canto definido no *TileCorner*.

Na Figura 3.33 pode-se ver o mosaico a ser gerado com as regiões do ficheiro tile, representadas a azul, que foram usadas para criar o mosaico.

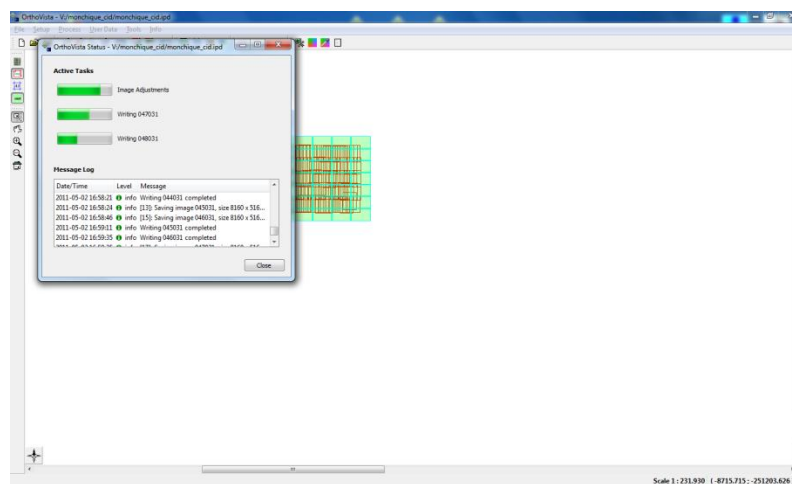


Figura 3.33: Criação do mosaico no “OrthoVista”.

Após a criação do mosaico segue-se a correcção das coseduras, representadas a verde na Figura 3.34, criadas pelo programa na geração do mosaico. Essas coseduras por vezes aparecem por cima de edifícios, fazendo com que estes não apareçam uniformes devido aos diferentes rebatimentos originados pelas diferentes fotografias aéreas no momento em que são capturadas. Estando metade de um edifício rebatido para um lado e outra metade para o outro. Na Figura 3.34 verifica-se que existe um diferente rebatimento de edifícios, fazendo com que

o programa não une bem os ortos e alguma diferença de cores entre as diferentes coseduras. Essas diferenças de cor são corrigidas, posteriormente num editor de imagens.



Figura 3.34: Coseduras no mosaico criado.

As correcções efectuadas ao mosaico são armazenadas no ficheiro de metadados em que é necessário proceder a um pós processamento para aplicar as coseduras editadas ao mosaico.

3.8.3. Mudança de sistema de referência

Por vezes os clientes pedem os ortofotos em diferentes sistemas de referência, como por exemplo em ETRS89 e Datum73. Os dados produzidos inicialmente são em ETRS89, no sistema de coordenadas PTM06, e para se proceder à conversão para o sistema Hayford Gauss Datum73 usa-se a opção GDAL WARP do programa FWTools. O método de reamostragem usado é o bilinear.

A linha de comando usada para criar os ficheiros TIFF em Datum73 é a seguinte:

```
for %i in (*.tif) do (gdalwarp -s_srs "+init=pt:ptm06 +wktext" -t_srs "+init=pt:d73hg +wktext" -r bilinear %i .\dt73\%i)
```

Posteriormente, depois de todas as fotografias estarem em Datum73 procede-se à extracção do ficheiro *world*, TFW. Para isso usa-se a opção listgeo do FWTools. A linha de comando usada é a seguinte:

```
for %i in (*.tif) do listgeo -tfw %i
```

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

Neste capítulo foi realizada a comparação entre as câmaras digitais DigiCAM-H/39 e uma DMC (*Digital Mapping Camera*). Para realizar essa comparação procedeu-se à criação de novos projectos, com áreas de estudo semelhantes, com fotografias aéreas da câmara digital DigiCAM-H/39 e com fotografias aéreas da DMC, e realizou-se a aerotriangulação para cada projecto e efectuou-se a sua análise. O processamento da aerotriangulação foi realizado num computador equipado com um processador Intel® Core™ i5 com 2.80 GHz e memória RAM de 8GB.

4.1. Especificações das Câmaras Digitais

As câmaras digitais em estudo apresentam diversas especificações, desde as dimensões do sensor ao tamanho final das fotografias. Estas especificações podem ser vistas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Principais especificações das câmaras digitais em comparação.

Câmaras digitais	Dimensões do sensor (pixéis)	Distância focal (mm)	Tamanho do Píxel (μm)	Resolução radiométrica (bits)	Tamanho das fotografias (KB)
DigiCAM-H/39	5412×7216	81.9584	6.8	8	166.774
DMC	7680×13824	120.0000	12	12	417.823

Como se pode ver na Tabela 4.1 a câmara DMC apresenta um sensor maior, o que, conjugado com a respectiva distância focal, permite obter uma maior área de cobertura do terreno que por sua vez resulta em menos fotografias e em menos fiadas em comparação com a DigiCAM-H/39 e uma resolução radiométrica superior, que melhora a qualidade da informação presente na fotografia.

4.2. Áreas de Estudo

As áreas de estudo que foram utilizadas para a criação dos projectos localizam-se sobre o distrito de Aveiro, no concelho de Ílhavo e Vagos entre a Praia da Vagueira e a Costa Nova do Prado (Figura 4.1).

As áreas obtidas pela DMC (6295248 m²) e pela DigiCAM-H/39 (5280336 m²) não são exactamente iguais devido ao facto de as câmaras apresentarem sensores diferentes, o que proporciona fotografias de diferentes tamanhos. A DigiCAM-H/39 necessitou assim de duas

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

fiadas de trinta e sete fotos para obter uma área aproximada à DMC que só necessitou de uma fiada de vinte e nove fotos. No total obteve-se 11.5 GB de fotografias aéreas com a DMC e 11.7 GB de fotografias aéreas com a DigiCAM-H/39.

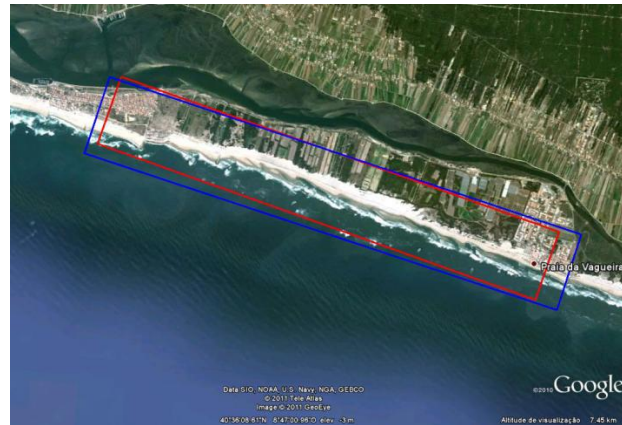


Figura 4.1: Áreas de estudo das diferentes câmaras digitais.

A azul está representada a área obtida pela DMC e a vermelho pela DigiCAM-H/39.

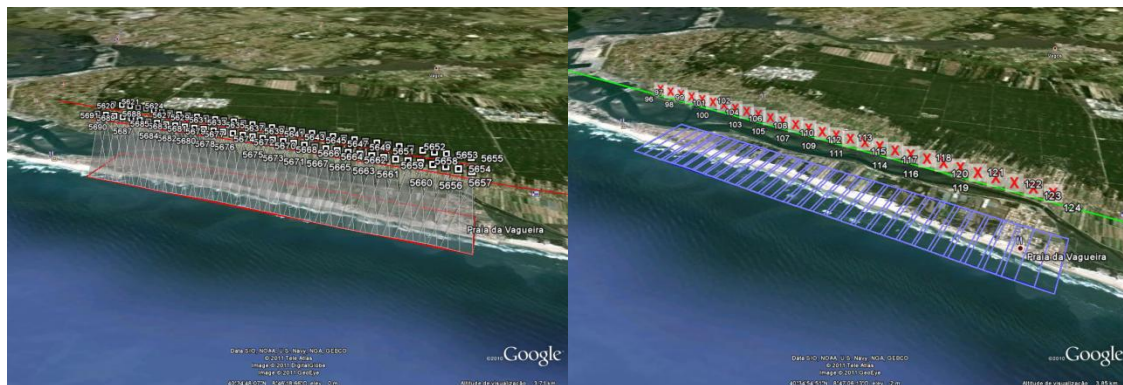


Figura 4.2: Fotos retiradas pela DigiCAM-H/39 na esquerda e pela DMC na direita.

Para a realização do projecto foi necessário obter pontos fotogramétricos na área de estudo. Foram retirados quatro pontos fotogramétricos (Figura 4.3) dos seis previstos nas extremidades da área. Os dois pontos que não foram retirados encontravam-se na parte central área de estudo, contudo não foi possível retirar esses pontos devido a encontrarem-se em locais inacessíveis (locais privados). Os pontos foram recolhidos em Datum73, sendo depois transformados, usando o método de transformação das grelhas proposto por Gonçalves, J (2008), para ETRS89 através do comando CS2CS do FWTools.

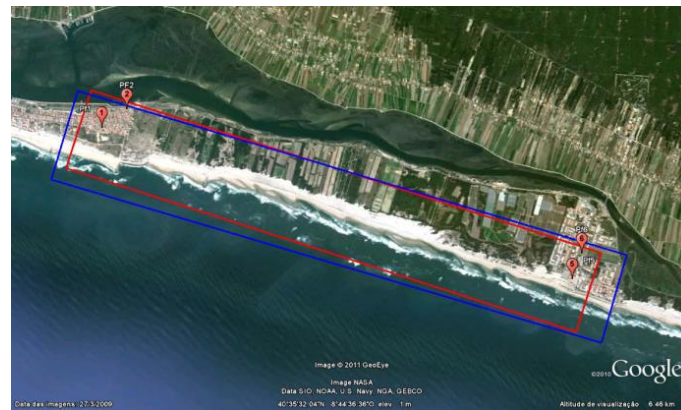


Figura 4.3: Pontos fotogramétricos retirados nas áreas de estudo.

4.3. Resultados Aerotriangulação

Após a criação de um projecto para cada câmara digital (onde se incluiu as fotos das áreas de estudo, as especificações das câmaras, os dados da orientação externa nas fotografias aéreas, geraram-se as *Strips* e por fim a introdução dos quatro pontos fotogramétricos recolhidos no terreno através de um receptor GNSS em modo diferencial), processou-se a aerotriangulação.

Para cada projecto a aerotriangulação foi processada três vezes, no primeiro processamento usou-se a extracção automática de pontos de ligação (*Tie Points*) com um ajustamento do bloco. No segundo e terceiro processamento usou-se um pós-processamento em que no segundo usou-se uma orientação absoluta do bloco e no terceiro usou-se uma orientação absoluta do bloco e uma detecção de erros. Os pontos fotogramétricos usados nos projectos só foram identificados nas fotografias aéreas após o primeiro processamento. Estes pontos foram introduzidos como pontos de verificação (*Check Points*).

4.3.1. Primeiro processamento

No primeiro processamento, usou-se um padrão de 5×5 na criação dos pontos de ligação.

- Projecto com a Câmara Digital DigiCAM-H/39:

Neste processamento a DigiCAM-H/39 apresentou um *Sigma naught* de 4.2 micron, que representa 0.6 pixel na aerotriangulação. Este processamento demorou 9 minutos e 52 segundos. Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão presentes na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3.

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

Tabela 4.2: Resíduos das observações GNSS após o primeiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.252	0.189	0.164
Max	0.861	0.577	0.578
Min	0.016	0.003	0.004

Tabela 4.3: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o primeiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.069	0.069	0.195
Max	0.138	0.137	0.424
Min	0.054	0.056	0.099

Este processamento eliminou algumas observações GNSS.

- Projecto com a Câmara Digital DMC:

Este projecto apresentou um *Sigma naught* de 1.3 micron o que equivale a 0.1 pixel na aerotriangulação logo no primeiro processamento. Este processo teve a duração de 2 minutos e 31 segundos.

Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão para este projecto presentes na Tabela 4.4 e na Tabela 4.5.

Tabela 4.4: Resíduos das observações GNSS após o primeiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.036	0.033	0.039
Max	0.068	0.093	0.108
Min	0.001	0.002	0.001

Tabela 4.5: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o primeiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.027	0.025	0.042
Max	0.045	0.046	0.064
Min	0.020	0.021	0.035

Este processamento eliminou a componente vertical de um ponto fotogramétrico.

4.3.2. Segundo processamento

Neste segundo processamento, o primeiro pós processamento, usou-se uma orientação absoluta do bloco, que calcula parâmetros de orientação externa que vai aplicar às imagens distorcidas (inpho, 2010). Os quatro pontos fotogramétricos foram medidos, no “Multi Photo Measurement”, antes de se processar o pós-processamento como pontos de verificação nos componentes horizontal e vertical. Foram ainda removidos os pontos de ligação presentes sobre a água por apresentar erros elevados e visualmente não se conseguir identificar os pontos nas várias fotografias. Na Figura 4.4 pode-se verificar a distribuição dos vários pontos de ligação e dos pontos fotogramétricos no projecto realizado com a câmara digital DigiCAM-H/39 (figura da esquerda) e no projecto realizado com a DMC (figura da direita).

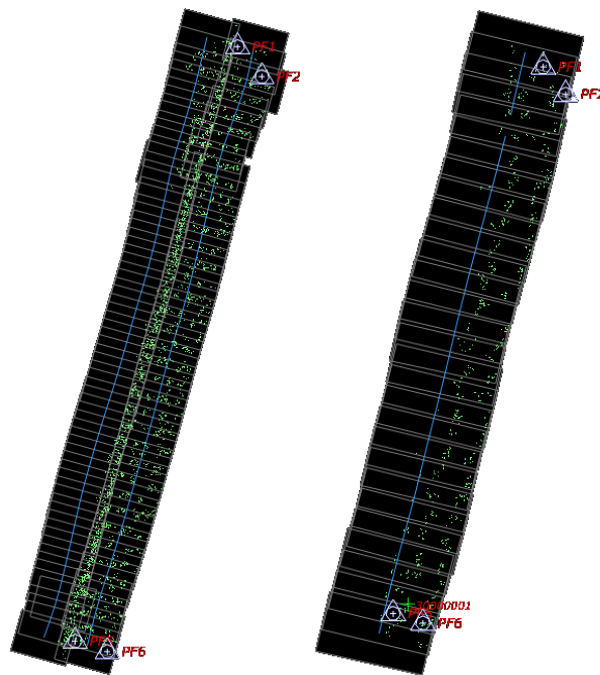


Figura 4.4: Pontos de ligação e pontos fotogramétricos utilizados nos diferentes projectos.

Como se pode constatar na Figura 4.4 o projecto realizado com a câmara DigiCAM-H/39 apresenta um número maior de pontos de ligação do que o projecto realizado com a câmara DMC. Esta diferença de pontos deve-se ao facto de o projecto com a DigiCAM-H/39 apresentar duas fiadas, daí haver a necessidade de haver um número maior de pontos de ligação. A necessidade de haver um maior número de pontos de ligação fez com que o primeiro processamento do projecto com a DigiCAM-H/39 fosse mais demorado do que o projecto com a DMC, como se pôde averiguar no ponto 4.3.1.

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

- Projecto com a Câmara Digital DigiCAM-H/39:

Neste pós-processamento houve uma melhoria do *sigma naught* que passou de 4.1 micron para 3.2 micron, o que equivale a 0.5 pixel. Este processo, como é um pós-processamento, durou só 4 segundos.

Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão para este projecto presentes na Tabela 4.6 e na Tabela 4.7.

Tabela 4.6: Resíduos das observações GNSS após o segundo processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.244	0.179	0.160
Max	0.760	0.550	0.557
Min	0.011	0.006	0.002

Tabela 4.7: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o segundo processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.015	0.014	0.073
Max	0.055	0.044	0.260
Min	0.011	0.011	0.043

Na Tabela 4.8 verifica-se que existe uma elevada diferença entre os pontos de ligação e os pontos fotogramétricos recolhidos no terreno na componente Y e em altimetria.

Tabela 4.8: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.057	0.303	0.483
Max	0.094	0.428	0.806
Min	0.016	0.065	0.272

- Projecto com a Câmara Digital DMC:

A aerotriangulação neste segundo processamento, primeiro pós-processamento, apresentou uma melhoria de *Sigma naught* que passou para 0.9 micron, que equivale na mesma a 0.1 pixel. Este processo demorou apenas 3 segundos.

Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão para este projecto presentes na Tabela 4.9 e na Tabela 4.10.

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

Tabela 4.9: Resíduos das observações GNSS após o segundo processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.033	0.031	0.037
Max	0.064	0.075	0.101
Min	0.003	0.000	0.000

Tabela 4.10: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o segundo processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.004	0.003	0.010
Max	0.018	0.005	0.028
Min	0.003	0.003	0.008

Na Tabela 4.11 apresenta-se a diferença entre os pontos de ligação criados na aerotriangulação e os pontos de verificação introduzidos. Esta diferença entre pontos encontra-se na ordem dos 20 cm sendo bastante aceitável.

Tabela 4.11: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.140	0.200	0.136
Max	0.199	0.265	0.218
Min	0.098	0.145	0.036

4.3.3. Terceiro processamento

Neste processamento, o segundo pós processamento, adicionou-se outro processo para melhorar a aerotriangulação, que é a detecção de erros. Este processo apaga automaticamente os pontos medidos do ficheiro do projecto se for detectado um erro (inpho, 2010).

- Projecto com a Câmara Digital DigiCAM-H/39:

Com o novo processo adicionado, este projecto sofreu uma melhoria do *Sigma naught* que passou de 3.2 micron para 2.3 micron, o que equivale a 0.3 pixel. Este processamento teve a duração de 7 segundos.

Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão para este projecto presentes na Tabela 4.12 e na Tabela 4.13.

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

Tabela 4.12: Resíduos das observações GNSS após o terceiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.141	0.147	0.135
Max	0.314	0.496	0.405
Min	0.006	0.002	0.001

Tabela 4.13: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o terceiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.011	0.011	0.055
Max	0.040	0.032	0.192
Min	0.008	0.008	0.033

Este pós-processamento eliminou várias observações de GNSS. Na Tabela 4.14 verifica-se que não ocorreu uma melhoria dos resultados na diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

Tabela 4.14: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.059	0.302	0.479
Max	0.095	0.428	0.801
Min	0.014	0.066	0.286

- Projecto com a Câmara Digital DMC:

Neste pós-processamento o *Sigma naught* melhorou para 0.7 micron, o que equivale na mesma a 0.1 pixel. O processamento teve a duração de 5 segundos.

Os resultados dos resíduos das observações GNSS e dos desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno estão para este projecto presentes na Tabela 4.15 e na Tabela 4.16.

Tabela 4.15: Resíduos das observações GNSS após o terceiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.032	0.033	0.037
Max	0.060	0.077	0.105
Min	0.001	0.000	0.003

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

Tabela 4.16: Desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno após o terceiro processamento.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Média	0.003	0.002	0.008
Max	0.013	0.004	0.022
Min	0.002	0.002	0.006

Este processo eliminou a componente da altitude de um ponto fotogramétrico e um ponto fotogramétricos, eliminou também observações GNSS. Na Tabela 4.17, como ocorreu no segundo pós processamento da aerotriangulação com as fotografias da DigiCAM-H/39, verifica-se que não existe um melhoramento de resultados na diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

Tabela 4.17: Diferença entre os pontos de ligação e os pontos de verificação.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
EMQ	0.141	0.204	0.137
Max	0.198	0.265	0.219
Min	0.099	0.144	0.032

À medida em que foram feitos novos processamentos, o *Sigma naught* foi melhorando, tal como os restantes dados, mas alguns dados que deviam ser de referência foram eliminados, o que pode fazer com que a qualidade das coordenadas obtidas com a aerotriangulação seja fraca apesar de o *software* apresentar um bom resultado.

Na Figura 4.5 pode-se verificar que o projecto com a câmara DMC foi mais rápido a obter a aerotriangulação e a obter um *sigma* mais baixo no final das três fases de processamento a que foi submetido em comparação com o projecto da câmara digital DigiCAM-H/39.

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

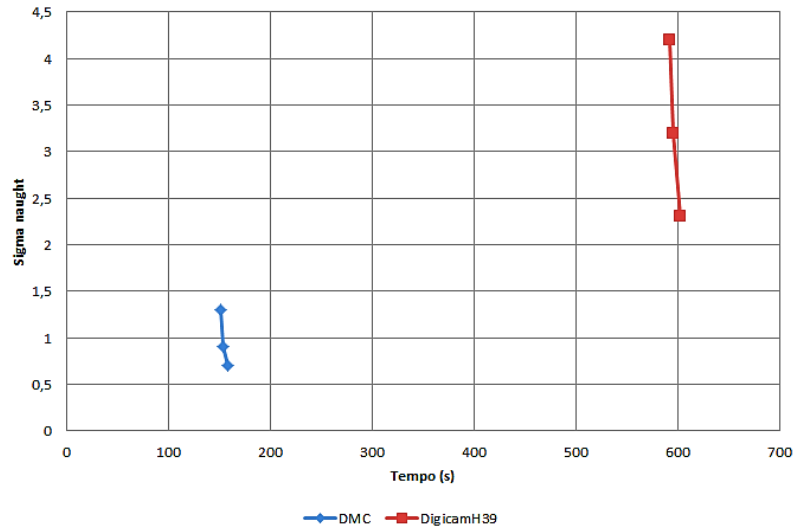


Figura 4.5: Comparação entre a aerotriangulação do projecto da câmara DMC e a DigiCAM-H/39.

Na Tabela 4.18 encontra-se um quadro comparativo, onde estão os factores de decisão e exactidão para a aprovação da aerotriangulação propostos pelo IGP (2010), entre os resultados obtidos pela aerotriangulação no final dos processamentos para as duas câmaras em estudo. De reparar que existe uma diferença entre os resultados obtidos fazendo com que os resultados obtidos com a DMC sejam melhores que os obtidos com a DigiCAM-H/39 em altimetria e na componente Y. Segundo o IGP (2010) os resultados da aerotriangulação das fotografias aéreas obtidas pela DMC encontra-se dentro dos requisitos para a produção de cartografia à escala 1/2000 enquanto os resultados da aerotriangulação das fotografias aéreas recolhidas pela DigiCAM-H/39 não se encontram dentro dos mesmo requisitos da DMC devido a apresentar um grande desvio entre os pontos da aerotriangulação e os pontos de verificação, fazendo com que se possa produzir cartografia 1/5000 com os resultados obtidos. Estes resultados podem ter ocorrido devido aos resultados recolhidos pelas observações GNSS (Tabela 4.19) na aeronave no momento de recolha da fotografia aérea.

Tabela 4.18: Quadro comparativo entre os resultados obtidos na aerotriangulação.

	DigiCAM-H/39			DMC			Diferença		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação	0.095	0.428	0.801	0.198	0.265	0.219	0.103	0.163	0.582
Desvio Padrão máximo nos pontos de ligação	0.040	0.032	0.192	0.013	0.004	0.022	0.027	0.028	0.170

Na Tabela 4.19 pode-se observar que as fotografias obtidas pela DigiCAM-H/39 apresentam resíduos nas observações GNSS mais elevados do que as observações recolhidas pela DMC. A diferença entre estas duas observações ascende até ao máximo de 0.419 m em planimetria e 0.300 m em altimetria. De reparar que foi usado um filtro no ultimo processamento que eliminou algumas observações GNSS nas fotografias obtidas pela DigiCAM-H/39 fazendo com que esta diferença se apresente mais baixa do que inicialmente.

Tabela 4.19: Diferenças nas observações GNSS

	DigiCAM-H/39			DMC			Diferença		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Observações GNSS	0.314	0.496	0.405	0.060	0.077	0.105	0.254	0.419	0.300

4.4. Conclusões

Após a análise dos resultados obtidos na aerotriangulação para os dois projectos em estudo, um com a câmara DMC e outro com a DigiCAM-H/39, pode-se concluir que o projecto com as fotografias tiradas pela DMC obtiveram melhores resultados que o projecto onde as fotografias aéreas foram recolhidas pela DigiCAM-H/39.

Concluiu-se também que na relação entre o resultado dos processamentos e o tempo gasto na aerotriangulação, as fotografias recolhidas pela DMC apresentam um processamento mais rápido com melhores resultados em relação às fotografias recolhidas pela DigiCAM-

4. Comparação entre a Câmara Digital DigiCAM-H/39 e uma DMC

H/39. Este resultado em termos empresariais iria diminuir o tempo de preparação para a edição do modelo digital do terreno permitindo, no final, uma produção de ortofotos mais rápida. Ao nível da aerotriangulação as fotografias obtidas pela DMC poderiam fazer com que a empresa pudesse participar em novos projectos e concursos mais exigentes ao nível da precisão de ortofotos devido ao facto de os desvios padrão dos pontos ajustados ao terreno e a diferença entre os pontos de ligação da aerotriangulação e os pontos de verificação obtidos no terreno estarem dentro dos parâmetros propostos (na aerotriangulação) pelo Instituto Geográfico Português, para a produção de cartografia a diversas escalas.

Embora uma fotografia da câmara DMC ocupe mais espaço em disco do que uma fotografia da DigiCAM-H/39, no final do voo a DMC ocupa menos espaço em disco, devido a capturar uma área maior no terreno e à DigiCAM-H/39 ter de capturar mais fotografias para poder obter a mesma área fotografada. A obrigação pela parte da DigiCAM-H/39 a ter de tirar mais fotografias aéreas verticais obriga também a realizar-se mais fiadas, o que pode significar um aumento do combustível gasto pela aeronave e consequentemente um gasto acrescido no orçamento.

De reparar também que os resultados obtidos pelas observações GNSS nas fotografias aéreas obtidas pela DigiCAM-H/39 apresentam resíduos mais elevados do que as fotografias recolhidas pela DMC, o que faz com que possa ser necessário realizar um voo de calibração para melhorar os resíduos das observações GNSS.

5. Considerações Finais

O trabalho realizado durante o período de estágio num ambiente empresarial, na InfoPortugal, S.A., foi bastante produtivo ao nível do desenvolvimento pessoal, experiência e autonomia adquirida, onde a rapidez e o rigor dos processos a trabalhar são dois pontos importantíssimos numa empresa. Este trabalho permitiu a execução prática dos vários passos necessários para a produção de ortofotos desde o planeamento do voo.

Os vários passos executados obtiveram bons resultados na produção de ortofotos. Entre estes resultados é de salientar a criação da aerotriangulação através de um modo automático, em que apresentou resultados bastante aceitáveis e na criação do mosaico onde era apenas necessário corrigir as coseduras quando estas se encontravam sobre edifícios que estavam rebatidos para lados diferentes.

Ocorreu ainda uma comparação entre câmaras digitais através dos resultados obtidos na aerotriangulação. Nesta pode-se verificar que a aerotriangulação com as fotografias aéreas recolhidas pela DMC apresenta melhores resultados do que a DigiCAM-H/39. Verifica-se também que a DigiCAM-H/39 necessita de efectuar mais uma fiada de fotografias do que a DMC fazendo com que haja um gasto de combustível por parte da aeronave que poderia ser evitável.

Apesar dos vários passos realizados na elaboração deste relatório existe trabalho futuro a realizar. Este trabalho poderá passar pela análise dos filtros na edição do modelo digital do terreno, que poderá reduzir substancialmente o seu tempo de edição e a adição de uma nova câmara digital ao processo de comparação entre câmaras digitais, e uma análise mais aprofundada aos sensores que cada câmara utiliza de forma a descobrir qual a melhor câmara digital a utilizar para a produção de ortofotos.

Bibliografia

- Shuttle Radar Topography Mission*. (17 de Junho de 2009). Obtido em 13 de Abril de 2011, de Nasa Jet Propulsion Laboratory: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- Berberan, A. (2003). *Elementos de Fotogrametria aplicada à aquisição de informação geográfica*. Europam.
- Burtch, R. (2008). *History of Photogrammetry. The Center for Photogrammetric Training, Ferris State University*. Obtido em 7 de Março de 2011, de <http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/History.pdf>
- Coelho, L., & Brito, J. N. (2007). *Fotogrametria Digital* (2ª Edição ed.). Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Egels, Y., & Kasser, M. (2002). *Digital Photogrammetry*. Londres e Nova York: Taylor & Francis.
- Gonçalves, G. R. (2005). *Elementos de Fotogrametria Analítica*. Obtido em 13 de Novembro de 2010, de www.mat.uc.pt/~gil/downloads/fotogrametria0506.pdf
- Gonçalves, J. (2008). Conversões de coordenadas com o programa PROJ – Método de conversão com grelhas. *Proceedings of SASIG2008*.
- IGP. (2010). *Serviços do IGP*. Obtido em 27 de 01 de 2011, de www.igeo.pt/servicos/Autoridade_Nacional/INTERNET_precisoos_para_1k_2k_5k_10k.pdf
- InfoPortugal Sistemas de Informação e Conteúdos, S. (2010). Obtido em 07 de Março de 2011, de InfoPortugal S.A.: <http://www.infoportugal.pt/company/>
- inpho. (2010). *Match-AT 5.3 Reference Manual*.
- Kraus, K. (1993). *Photogrammetry* (4ª Edição ed., Vol. 1). Ummmler / Bonn.
- Pappa, R. S., Jones, T. W., Black, J. T., Walford, A., Robson, S., & Shortis, M. R. (2002). Photogrammetry Methodology for Gossamer Spacecraft Structures. *Sound and Vibration*, 36, 12-21.

Redweik, P. (2007). *Fotogrametria Aérea*. Obtido em 22 de Janeiro de 2011, de http://62.48.187.114/snig-educ/ficheiros/glossarios/fotogrametria_aerea1.pdf

Rocha, C., Piorno, J., & Freire, R. (2004). *Uma Discussão Histórica sobre a Fotogrametria*. Obtido em 7 de Março de 2011, de Sociedade Brasileira de Cartografia: http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/042-F31.pdf

Anexos

- Anexo A: Relatório do planeamento de voo sobre Aveiro.
- Anexo B: Folhas de campo a levar para a recolha dos pontos fotogramétricos.

Anexo A



INFOPORTUGAL

Estrada da Circunvalacao 10415

4250- 151 Porto

PORTUGAL

Project: 2010_PROJECTS
 Area: ria_falha
 Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
 Camera: DIGICAM_H39_ACROSS
 Focal Length [mm]: 80
 Film Format [mm²]: 36.8 x 49.1
 Magnetic Variation: 0
 Data Annotation #1: WGS84
 Data Annotation #2: True Altitude [ft]
 Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [']	No of Photo	Length [km]
1	1	2703	2702	1	10294	60	152	25	43	6.364
2	1	2722	2702	21	10294	60	152	15	35	5.152
3	1	2722	2702	20	10294	60	152	15	36	5.303
4	1	2719	2702	17	10294	60	152	16	59	8.789

Total number of lines / segments: 4 / 4

Total number of photos: 173

Total line length [km]: 25.61

Estimated project time [hh:mm]: 00:21 (130.0 kts, 05:00 min per turn)

CREATED BY

CHECKED BY

INFOPORTUGAL

Estrada da Circunvalacao 10415

4250- 151 Porto

PORTUGAL

Project: 2010_PROJECTS
 Area: ria_falha
 Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
 Camera: DIGICAM_H39_ACROSS
 Focal Length [mm]: 80
 Film Format [mm²]: 36.8 x 49.1
 Magnetic Variation: 0
 Data Annotation #1: WGS84
 Data Annotation #2: True Altitude [ft]
 Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	2703	2702	1	10294	60	152	25	43	6.364
2	1	2722	2702	21	10294	60	152	15	35	5.152
3	1	2722	2702	20	10294	60	152	15	36	5.303
4	1	2719	2702	17	10294	60	152	16	59	8.789

Total number of lines / segments: 4 / 4

Total number of photos: 173


Total line length [km]: 25.61

Estimated project time [hh:mm]: 00:21 (130.0 kts, 05:00 min per turn)

CREATED BY_____
CHECKED BY

Anexo B

ID do Ponto Fotogramétrico/Altura da antena:		
Zona2_PF3		
Coordenadas do Ponto:		
X=		
Y=		
Z=		
Sistema de Referência:		
Data e Hora GMT/PDOP/nº Satélites:		



Croqui do Local:

Observações:

ID do Ponto Fotogramétrico/Altura da antena:

Zona1_PF2	
-----------	--

Coordenadas do Ponto:

X=
Y=
Z=

Sistema de Referência:

--

Data e Hora GMT/PDOP/nº Satélites:

--	--	--



Croqui do Local:

--

Observações:

--

ID do Ponto:

Coordenadas do Ponto (m):

A_2	X=	Y=	Z=
	Sistema de Referência:		



Data e hora:

Altura da antena:

nº foto do local:

--	--	--

Croqui do local:

--

Observações:

--

ID do Ponto:

Coordenadas do Ponto (m):

A_4	X= Sistema de Referência:	Y=	Z=
-----	------------------------------	----	----



Data e hora:

Altura da antena:

nº foto do local:

--	--	--

Croqui do local:

Observações: